

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **ZAVRŠNI RAD**

**Luka Vržogić**

Zagreb, 2019. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Doc. dr. sc. Tomislav Pukšec, dipl. ing.

Student:

Luka Vržogić

Zagreb, 2019. godina.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru, doc. dr. sc. Tomislavu Pukšecu, dipl. ing. na pruženoj prilici za izradu ovog rada te isto tako zahvaljujem se asistentu Borni Doračiću, mag. ing. na pruženoj pomoći i korisnim savjetima tijekom pisanja rada.

Luka Vržogić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: Luka Vržogić

Mat. br.: 0035202078

Naslov rada na  
hrvatskom jeziku:

**Analiza integracije krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom  
električne i toplinske energije u postojeći energetski sustav**

Naslov rada na  
engleskom jeziku:

**Analysis of the integration of heat and electricity prosumers into the  
existing energy system**

Opis zadatka:

Krajnji kupci s vlastitom proizvodnjom su razni subjekti poput kućanstava, zadruga, industrijskih postrojenja te sličnih udruženja, organizacija i tvrtki koje u isto vrijeme troše i proizvode energiju. Ovakva postrojenja bi trebala imati značajnu ulogu u budućim energetskim sustavima sa visokim udjelima varijabilnih obnovljivih izvora energije, s obzirom da u svojoj srži predstavljaju decentralizirana energetska postrojenja. Glavni cilj ovoga rada je analizirati mogućnost integracije jednog takvog sustava u postojeći energetski sustav s fokusom na vlastitu proizvodnju toplinske i električne energije putem tehnologija iskorištavanja sunčeve energije.

U radu je potrebno:

1. Napraviti pregled literature na temu krajnjih kupaca energije s vlastitom proizvodnjom na razini EU i Republike Hrvatske, uključujući i analizu primjera najbolje prakse te zakonodavnog okvira,
2. Prikupiti potrebne ulazne podatke za modeliranje krajnjih kupaca energije s vlastitom proizvodnjom pomoću alata energyPRO,
3. Napraviti tehno-ekonomsku analizu integracije krajnjih kupaca energije s vlastitom proizvodnjom električne i toplinske energije putem fotonaponskih panela i solarnih kolektora u postojeći energetski sustav,
4. Izračunati emisije CO<sub>2</sub> za analizirani slučaj u odnosu na trenutno stanje,
5. Izračunati ključne parametre poput udjela vlastite potrošnje i energije predane u mrežu.

Potrebni podaci i literatura se mogu dobiti kod mentora. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

29. studenog 2018.

Rok predaje rada:

1. rok: 22. veljače 2019.

2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2019.

3. rok: 20. rujna 2019.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 25.2. - 1.3. 2019.

2. rok (izvanredni): 2.7. 2019.

3. rok: 23.9. - 27.9. 2019.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Tomislav Pukšec

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Distribuirani energetske izvori .....	2
1.2. Integracija obnovljivih izvora energije u budući energetske sustav .....	6
1.2.1. Pametna mreža .....	7
1.2.2. Tehnologije brzog odziva (demand response) i povezivanje sektora (sector coupling) .....	9
1.2.3. Fleksibilne termoelektrane .....	10
1.2.4. Korištenje spremnika energije .....	10
2. ZAKONODAVNI OKVIR.....	11
2.1. Pariški sporazum o klimatskim promjenama .....	11
2.2. Čista energija za sve Europljane .....	11
2.3. Ciljevi Europske unije do 2050. godine .....	12
2.4. Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji .....	14
3. METODA .....	16
3.1. EnergyPRO .....	16
3.2. Geoportali.....	18
3.3. Izračun ekonomskih pokazatelja .....	19
3.4. Izračun emisije CO <sub>2</sub> .....	21
4. ANALIZA GRADSKOG NASELJA LANIŠTE .....	22
4.1. Opći podaci o naselju .....	22
4.2. Meteorološki podaci.....	23
4.3. Toplinske potrebe.....	24
4.4. Potrebe za električnom energijom.....	26
4.5. Dostupne površine krovova za postavljanje solara i fotonaponskih ćelija i duljina toplovoda.....	27
5. SCENARIJI .....	28
5.1. Referentni scenarij .....	28
5.2. Scenarij 1.....	29
5.3. Scenarij 2.....	30
6. REZULTATI .....	31
6.1. Scenarij 1.....	32
6.2. Scenarij 2.....	35
6.3. Ekonomski pokazatelji .....	39
6.4. Emisija CO <sub>2</sub> .....	40
7. ZAKLJUČAK.....	42

## POPIS SLIKA

Slika 1. Ilustracija funkcioniranja današnjeg energetskeg sustava [36] .....	1
Slika 2. Modeli energetskeg sustava [37] .....	2
Slika 3. Integracija prosumera u sadašnji energetski sustav [38] .....	4
Slika 4. Svjetska proizvodnja električne energije prema izvoru energije [39] .....	6
Slika 5. Emisija stakleničkih plinova po sektoru do 2050. godine [23] .....	13
Slika 6. Primjer modela izrađenog pomoću alata EnergyPRO .....	16
Slika 7. Moduli u EnergyPRO alatu [23] .....	17
Slika 8. Mjerenje površine krovova preko geoportala [29] .....	18
Slika 9. Snimka Laništa iz zraka (područje unutar crvene linije) [29] .....	22
Slika 10. Godišnja satna temperaturna distribucija .....	23
Slika 11. Godišnja satna distribucija ozračenja Zemljine površine .....	23
Slika 12. Dnevna postotna potreba za PTV [23] .....	24
Slika 13. Godišnja distribucija toplinske energije za PTV .....	25
Slika 14. Godišnja distribucija toplinske energije za grijanje .....	25
Slika 15. Distribucija električne snage za Lanište .....	26
Slika 16. Prikaz tlocrta zgrada u Laništu [29] .....	27
Slika 17. Godišnja krivulja proizvodnje toplinske energije i prikaz tipičnih mjeseci .....	32
Slika 18. Godišnja krivulja proizvodnje električne energije .....	33
Slika 19. Krivulja trajanja toplinskog opterećenja .....	34
Slika 20. Krivulja trajanja električnog opterećenja .....	34
Slika 21. Godišnja krivulja proizvodnje energije i prikaz zimskih mjeseci .....	35
Slika 22. Prikaz proizvodnje toplinske energije u ljetnom razdoblju .....	36
Slika 23. Napunjenost toplinskog spremnika .....	36
Slika 24. Godišnja krivulja proizvodnje električne energije .....	37
Slika 25. Krivulja trajanja električnog opterećenja .....	37
Slika 26. Krivulja trajanja toplinskog opterećenja .....	38

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Usporedba električnih mreža [15] .....	8
Tablica 2. Specifični faktori emisije CO <sub>2</sub> po jedinici goriva [35].....	21
Tablica 3. Korištene tehnologije po scenarijima .....	28
Tablica 4. Podaci individualnih plinskih kotlova [33] .....	29
Tablica 5. Specifikacija solarnih kolektora [23] .....	29
Tablica 6. Specifikacija fotonaponskih ćelija [23] .....	30
Tablica 7. Izračun ekonomskih pokazatelja .....	39
Tablica 8. Izračun emisija CO <sub>2</sub> .....	40
Tablica 9. Udio vlastite potrošnje električne energije i energija predana u mrežu .....	41

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$C_i$	kn/kWh	Minimalna vrijednost električne energije
$E_{pi}$	kn/kWh	Ukupna električna energija preuzeta iz mreže od strane kupca unutar obračunskog razdoblja i
$E_i$	kn/kWh	Ukupna električna energija isporučena u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu kupca, unutar obračunskog razdoblja i
$PKC_i$	kn/kWh	Prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju unutar obračunskog razdoblja i
$AC_a$	kn	Ukupni godišnji trošak proizvodnje i potrošnje električne i toplinske energije
$CC_{a,i}$	kn	Godišnji investicijski trošak proizvodne jedinice i
$FO\&M_{i,a}$	kn	Godišnji fiksni trošak održavanja proizvodne jedinice i
$VO\&M_{i,a}$	kn	Godišnji varijabilni trošak održavanja proizvodne jedinice i
$FC_{i,a}$	kn	Godišnji trošak goriva proizvodne jedinice i
$C_{el,a}$	kn	Godišnji trošak električne energije otkupljene iz mreže
$C_{h,a}$	kn	Godišnji trošak toplinske energije otkupljene iz mreže
$S_{el,a}$	kn	Godišnji prihod ostvaren prodajom električne energije
$S_{h,a}$	kn	Godišnji prihod ostvaren prodajom toplinske energije
$IC_i$	kn/MW	Investicijski trošak proizvodne jedinice i
$P_i$	MW	Instalirana snaga proizvodne jedinice
CRF	-	Faktor povrata kapitala



$FO\&M_i$	kn/MW	Fiksni trošak održavanja proizvodne jedinice i
$VO\&M_i$	kn/MWh	Varijabilni trošak proizvodnje energije proizvodne jedinice i
CF	-	Faktor opterećenja, postotak vremena u kojem proizvodna jedinica radi pri punoj snazi
$FC_i$	kn/MWh	Trošak goriva koje se koristi za pogon proizvodne jedinice i
$\eta_i$	-	Učinkovitost proizvodne jedinice
$C_{el,j}$	kn/MWh	Cijena električne energije otkupljene po tarifi j
$E_{el,j}$	MWh	Električna energija otkupljena po tarifi j
$E_{el,l}$	MWh	Električna energija isporučena mreži pri cijeni električne energije l
$S_{el,l}$	kn/MWh	Prodajna cijena električne energije pri cijeni električne energije l
$m_{co2,uk}$	kg/MWh	Specifična ukupna emisija CO <sub>2</sub>
$u_i$	-	Udio i-tog energenta
$m_{co2,i}$	kg/MWh	Specifične emisije CO <sub>2</sub> i-tog energenta
$\eta_a$	-	Konverzijski faktor
$a_1$	[W/m <sup>2</sup> °C]	Koeficijent gubitaka
$a_2$	[W/m <sup>2</sup> °C]	Koeficijent gubitaka
$K^\Theta$	-	Modifikator kuta učestalosti
$P_{max}$	W	Maksimalna snaga
$k_{pmax}$	%/°C	Temperaturni koeficijent snage
NOCT	°C	Normalna radna temperatura ćelije

## SAŽETAK

Potrošač s vlastitom proizvodnjom energije dobiva sve značajniju ulogu u trenutnoj energetske tranziciji gdje će se u konačnici pomoću pametnih mreža ostvariti dvosmjerni protok energije i informacija u novo izgrađenom energetske sustavu. Glavni cilj energetske tranzicije je prestanak korištenja fosilnih goriva i prebacivanje na obnovljive izvore energije gdje će distribuirana proizvodnja energije biti najbolji odgovor na sve veću potražnju za energijom.

Cilj ovog rada je analizirati tehno-ekonomske mogućnosti uklapanja potrošača s vlastitom proizvodnjom električne i toplinske energije u današnji energetske sustav. U prvom dijelu rada daje se uvid u izgled budućeg energetske sustava te zakonodavni okvir na nivou Europske Unije i Republike Hrvatske. Nakon toga, opisani su računalni alati korišteni za analizu kao i način prikupljanja ulaznih podataka.

Analiza je provedena za zagrebačko naselje Lanište za koje su prikupljeni podaci o broju stanovnika, meteorološki podaci, podaci o toplinskim i električnim potrebama i krovnim površinama dostupnim za instalaciju solarnih kolektora i fotonaponskih ćelija kako bi se napravila računalna simulacija potrošnje energije navedenog naselja.

Na kraju, prikazuju se pojedine proizvodne tehnologije kroz dva scenarija te su prikazani tehnološki i ekonomski pokazatelji na temelju kojih će se izvesti zaključak.

Ključne riječi: Distribuirani energetske izvori, potrošač s vlastitom proizvodnjom, pametna mreža, EnergyPRO

## **SUMMARY**

Prosumer has an increasing role in the energy transition where bi-directional flow of energy and information will be achieved with the utilization of smart grids in the newly built energy system. The main goal of energy transition is cessation of usage of fossil fuels and shift towards renewable energy sources where distributed energy production will be the best response to increasing energy demand.

The aim of this thesis is to analyse the technical and economic possibilities of integration of the prosumer in today's energy system. The first part gives an insight in the possible designs of the future energy systems and legislative framework at the level of the European Union and the Republic of Croatia. Then, the method of data collecting is presented and computer tools used are described.

The analysis is made for the Lanište neighbourhood in the city of Zagreb. Population data, meteorological data, heating and electricity demands and available roof surfaces data are used to make a computer model of the neighbourhood.

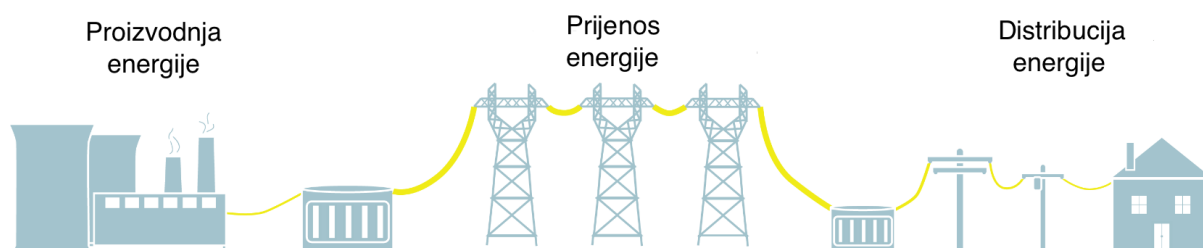
In the last part, results for two different scenarios are presented and a conclusion based on the results is made.

Key words: Distributed energy sources, prosumer, smart grid, EnergyPRO

## 1. UVOD

Danas je poznata činjenica da su klimatske promjene posljedica ljudskog djelovanja, stoga je znanstvena zajednica ostvarila konsenzus oko bitnih pitanja na području energetike i proizvodnje električne energije. Iako trenutno i dalje živimo u razdoblju gdje se električna energija dominantno dobiva iz velikih elektrana pogonjenih fosilnim gorivima, znanost jasno daje odgovor na pitanje kako bi suvremeni energetske sustavi trebali funkcionirati sa stajališta proizvodnje i potrošnje električne energije.

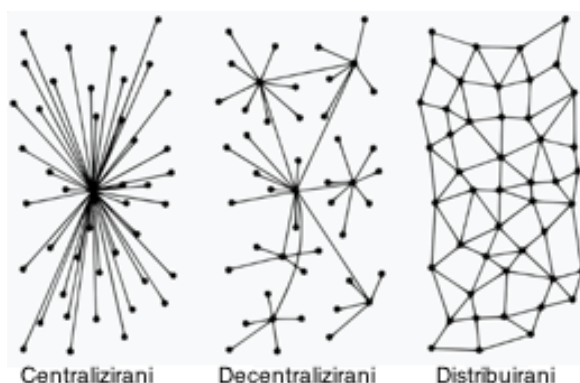
Globalna potražnja za električnom energijom konstantno raste i većinom je namirena iz elektrana koje su pogonjene fosilnim gorivima. Postojeći europski energetske sustav, kada govorimo o proizvodnji električne energije, je izrazito centraliziran i ovisan o dobavi najčešće uvoznog ugljena, prirodnog plina i sirove nafte [1]. Takav centralizirani sustav proizvodnje električne energije karakteriziran je manjim brojem velikih elektrana čija je zadaća u svakom trenutku proizvoditi onoliko električne energije koliko mreža traži. Iz ovog modela proizvodnje energije izvodi se zaključak da je cijeli proces proizvodnje do potrošnje električne energije jednosmjernan tj. potrošači su samo pasivni sudionici tako uspostavljenog sustava gdje nemaju nikakvu ulogu osim, naravno, korištenja proizvedene energije dobivene u procesu [2]. Takvi sustavi se pokazuju kao sve lošije rješenje za sve veću potražnju za električnom energijom zbog svoje zastarjele tehnologije, manjka efikasnosti i mjere u kojoj zagađuju okoliš. Upravo iz tih razloga, primjena obnovljivih izvora energije se pokazuje kao nužno rješenje za budućnost energetske sustava [2]. Kako bi osigurali što bolju penetraciju obnovljivih izvora energije na tržište, velike elektrane za razdoblje energetske tranzicije prema zelenoj energiji bi trebale postati fleksibilne i popunjavati nedostatke u dobavi energije onda kada postoji manjak sunčanih ili vjetrovitih sati [3].



Slika 1. Ilustracija funkcioniranja današnjeg energetske sustava [36]

### 1.1. Distribuirani energetske izvori

U suprotnosti sa današnjim centraliziranim sustavom dobivanja električne energije su upravo distribuirani energetske izvori ili decentralizirani energetske izvori. U takvom sustavu težište proizvodnje energije je prebačeno sa velikih elektrana na veći broj manjih proizvođača energije [4]. Uloga krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom električne i toplinske energije (*prosumer*) postaje sve značajnija u trenutnoj energetskej tranziciji gdje se stavlja težište na energetske učinkovitost i distribuiranu proizvodnju energije.



**Slika 2. Modeli energetske sustava [37]**

Gornja slika jednostavno prikazuje model energetske sustava koji postoje danas (centralizirani) i onih koji bi trebali zauzeti glavnu ulogu u budućnosti (decentralizirani i distribuirani) gdje će efikasnost i očuvanje okoliša biti vodeći motivi [5]. Visoko centralizirani sustavi sa jednim glavnim ishodišnim čvorom (velika elektrana) karakterizirani su jedinstvenom točkom kvara, što dovodi u pitanje opskrbe energijom velikog broja potrošača kada bi došlo do prekida rada jednog takvog visoko centraliziranog proizvođača energije [6]. Ovdje se želi naglasiti koliko je izražena ovisnost mnogih potrošača o jednom jedinom izvoru električne energije.

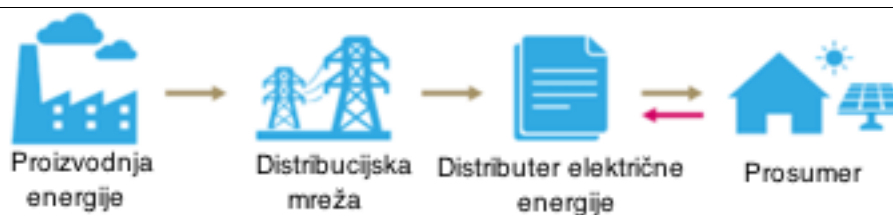
S vremenom, kako energetske sustavi evoluiraju, mijenja se način na koji krajnji potrošači ostvaruju interakciju sa raznim energetskeim izvorima ili čak s drugim potrošačima unutar istog sustava.

U distribuiranom energetsom sustavu potrošači imaju veću autonomiju nad svojom vlastitom proizvodnjom i potrošnjom energije gdje uz pomoć dobro međusobno povezane električne mreže mogu sa ostalim, sebi sličnim sudionicima, izmjenjivati proizvedenu energiju i pridonositi sveukupnoj ravnoteži ponude i potražnje energije [7].

Gore spomenuti krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom električne i toplinske energije (*prosumer*) će nositi jednu od ključnih uloga u novo uspostavljenom poretku što se tiče proizvodnje električne i toplinske energije gdje će se današnja 'jednosmjerna ulica' proizvodnje i potrošnje energije zamijeniti sa visoko učinkovitom pametnom mrežom s puno isprepletenih proizvođača i potrošača energije [7]. U takvoj tranziciji prebačen je fokus sa strane dobivanja energije na to kako se ona troši (upravo zbog intermitencije vjetra i solara) što znači da je efikasnost vrlo bitna stavka za energetske tranzicije. Proteklih 50 godina, kada je potražnja za električnom energijom bila u konstantnom porastu, proizvodnja i potrošnja energije uvijek se promatrala odvojeno bez ikakve posebne poveznice. Najveći izazov obnovljivih izvora energije je njihova intermitencija tj. isprekidanost u opskrbi energijom (vjetroelektrane i solarni paneli daju energiju samo onda kada ima vjetra i sunčanih dana) gdje će se za rješavanje tog problema u najvećem dijelu pridavati pažnja skladištenju i načinu potrošnje energije [8].

Ideja krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom električne i toplinske energije postaje sve popularnija na energetsom tržištu sa dvije bitne karakteristike – autonomija i sudjelovanje u jedinstvenom energetsom tržištu [4].

Osim što *prosumeri* ostvaruju veću autonomiju nad vlastitom proizvodnjom i potrošnjom energije, isto tako aktivno sudjeluju i na energetsom tržištu na način da višak proizvedene energije mogu dijeliti (uz ugovorenu naknadu) sa ostalim sudionicima energetskog sustava. Nivo autonomije *prosumera* je u velikoj mjeri ovisan o njegovom položaju, odnosno ako se radi o stanovniku slabo naseljenog područja, takav *prosumer* će imati u cilju ostvariti što veću kontrolu nad svojom vlastitom proizvodnjom energije, dok s druge strane, gusto naseljena područja zahtijevaju puno kompliciraniju interakciju bliskih proizvođača energije u cilju pouzdanosti što se tiče opskrbe energijom. Najveći motivi za instalacijom ovakvih sustava su naravno ekonomske prirode [9].



Slika 3. Integracija prosumera u sadašnji energetska sustav [38]

*Prosumeri* su u stanju uz pomoć vlastite proizvodnje energije smanjiti svoje račune za struju ili čak ostvariti profit koji bi došao od prodaje električne energije u električnu mrežu. Različiti spremnici energije mogu poslužiti kao vrlo bitna stavka u suvremenim distribuiranim energetska sustavima jer imaju sposobnost pohranjivanja energije i korištenja iste za potrebe u kućanstvima (ili gdje god je to potrebno) onda kada je cijena električne ili toplinske energije na tržištu visoka, odnosno onda kada se proizvodi u najmanjim količinama [10]. *Vehicle to grid* tehnologija, kao samo jedna u nizu od tehnologija brzog odziva (*demand response*), otvara mogućnost korištenja energije u momentima kada je električna mreža najviše opterećena (*peak demand*) ili onda kada obnovljivi izvori ne mogu proizvesti energiju [11]. S druge strane, što se tiče dijela toplinske energije, *prosumer* je također u mogućnosti spremiti višak toplinske energije u toplinski spremnik za vremena kada solarni kolektori neće biti u mogućnosti proizvesti potrebnu toplinu [11]. Cijeli smisao spremnika energije je održavati energetska sustav u konstantnoj ravnoteži u smislu ponude i potražnje gdje su spremnici takve vrste oduvijek zaostajali za drugim tehnologijama upravo zbog svoje nemogućnosti pohranjivanja velikih količina energije na jednostavan način (mala gustoća energije po jedinici baterije). Do danas, o spremnicima električne energije se oduvijek razmišljalo kao o većim, centraliziranim spremnicima koji su bili odgovorni za opskrbu električnom energijom većeg broja potrošača, dok s druge strane, spremnici električne energije danas postaju sve popularnija oprema koju koristi mali potrošač i tako popunjava praznine u opskrbi energijom. *Prosumer*, kao nezavisan entitet u suvremenom energetska sustavu, postaje aktivan sudionik u postizanju što veće energetske efikasnosti [12]. Energetska efikasnost predstavlja bitan korak naprijed prema zelenijoj ekonomiji i očuvanju okoliša. Umjesto ulaganja u gradnju novih elektrana, energetska učinkovitost se u svakom pogledu pokazuje kao bolji odabir za investicije koje će se isplatiti u dugoročnom planu jer na kraju, smisao energetske tranzicije i leži u činjenici da svatko bude uključen i tako stvori savjest i percepciju prema proizvodnji i potrošnji energije jer jedino tako možemo napraviti korak naprijed kao civilizacija što se tiče potrošnje energije i zaštite okoliša.

Danas je prisutna situacija gdje se energetska učinkovitost nastoji ostvariti većinom uređajima koji daju korisnicima energije povratne informacije o načinu trošenja pojedinih aparata u kućanstvu, tvrtci ili u industrijskom okruženju. Današnji energetske sustavi su u direktnoj suprotnosti sa onim distribuiranim zbog njihove jednostavnosti u smislu protoka energije i informacija gdje je temeljna razlika između ta dva uz protok električne energije i isprepleteni protok informacija koji nam pomaže pri postizanju efektivnog sudjelovanja u takvom energetske sustavu. Primjena pametnih brojila već sada dostiže visoku popularnost i preporučuje se njihova instalacija jer su u mogućnosti stvoriti uštede kod potrošnje električne energije. Pametna brojila prate potrošnju električne energije i omogućuju komunikaciju i razmjenu informacija između potrošača i centralnog proizvođača energije. Pametna brojila su opremljena senzorima koji u realnom vremenu daju informacije proizvođaču električne energije o tome koliko i u kojem vremenu potrošač troši energiju. S druge strane, potrošač preko pametnog brojila može pratiti točnu potrošnju energije i tako smanjiti mjesečnu naknadu za električnu energiju [13]. Cijena električne energije fluktuirala tijekom dana i korespondira sa ravnotežom između ponude i potražnje električne energije. U vremenima pojačane potražnje za električnom energijom, u sustav proizvodnje se moraju uključiti fleksibilne elektrane i nadoknaditi praznine u potražnji za energijom [3], a takvo iznenadno uključivanje drugih elektrana odražava se na podizanje cijene električne energije. *Prosumeri* će preko pametnih sustava moći izbjeći korištenje električne energije u satima kada je ona najskuplja i prebaciti poslove vezane uz korištenje energije onda kada je električna energija povoljnija. *Prosumeri* koji aktivno sudjeluju u programima promicanja energetske efikasnosti zapravo nose izraženiju ulogu proizvođača nego potrošača energije jer omogućavaju usluge prema tržištima energije u smislu opskrbe električnom energijom u zamjenu za dogovorenu kompenzaciju, a opet s druge strane, maksimalno vode računa o načinu potrošnje energije u svojim stambenim jedinicama.

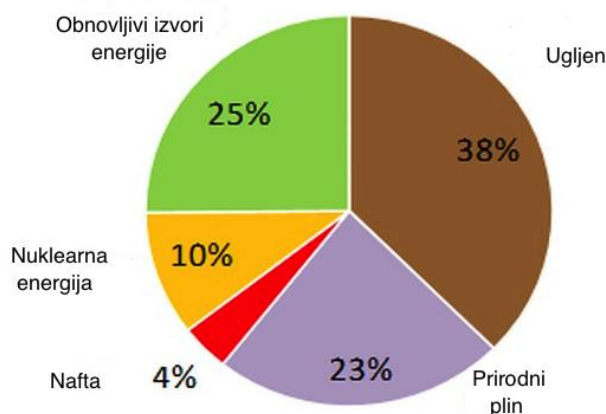


## 1.2. Integracija obnovljivih izvora energije u budući energetska sustav

*The difficulty lies not so much in developing new ideas as in escaping from old ones.*

*-John Maynard Keynes*

Primjena obnovljivih izvora energije u većim razmjerima predstavlja najveći izazov za bilo koji energetska sustav upravo zbog problema intermitencije solara i vjetra. U trenutnoj energetska tranziciji svjedoci smo velikih promjena koje se tiču proizvodnje električne energije gdje korištenje fosilnih goriva prestaje i počinje uporaba obnovljivih izvora energije. Zastupljenost obnovljivih izvora energije u svijetu je još uvijek mala u odnosu na neobnovljive izvore (fosilna goriva) te najveći problem predstavlja integracija obnovljivih izvora u postojeći energetska sustav [3]. Europska Unija ima u cilju do 2050. godine smanjiti emisije CO<sub>2</sub> za 80-95% [24] za čije će ostvarenje od najveće važnosti biti osigurati što lakšu integraciju obnovljivih izvora u sustav. Očekivani rezultati tranzicije se mogu opisati kao težnja što zelenijoj proizvodnji ali i pametnijoj raspodijeli i potrošnji proizvedene energije. U takvom procesu glavnu ulogu će imati mnoštvo manjih proizvođača energije koji će aktivno sudjelovati u akcijama unutar energetska sustava.



**Slika 4.** Svjetska proizvodnja električne energije prema izvoru energije [39]

Europska Unija je već poduzela prve mjere i osigurala inicijalni probitak obnovljivih izvora na tržište. Daljnje povećanje udjela obnovljivih izvora zahtijeva pametni pristup prema integraciji u energetska sustav kako bi se obnovljivi izvori iskoristili što efektivnije.

Kako bi osigurali što bolju integraciju obnovljivih izvora energije unutar energetskeg sustava, ključno će biti ispuniti sljedeće zahtjeve [3] :

- 1.) Evolucija Pametnih mreža
- 2.) Korištenje tehnologija brzog odziva (*demand response*) gdje će povezivanje više sektora gdje se troši energija biti od sistemskog značaja (*sector coupling*)
- 3.) Fleksibilne termoelektre
- 4.) Korištenje spremnika energije (baterije)

### **1.2.1. Pametna mreža**

Sve većom zastupljenosti obnovljivih izvora energije postaje sve teže održavati harmoniju električne mreže. Intermitencija predstavlja preveliki problem za današnje 'jednostavne' električne mreže te traži pametniji i efikasniji protok ne samo energije, nego i informacija. Drugim riječima, implementacijom nove tehnologije potrebno je izgraditi suvremeniju infrastrukturu koja će biti pouzdana i efikasna. Glavni cilj uz početak primjene pametnih mreža je i njihovo direktno povezivanje sa obnovljivim izvorima energije. Pametna mreža je unaprijeđena električna mreža koja koristi digitalne informacije i razne komunikacijske tehnologije za obradu podataka te kasnije na temelju tih podataka donosi efikasne odluke po pitanju akcija unutar elektroenergetske mreže [4]. Ovakve napredne električne mreže predstavljaju objedinjeni skup raznih tehnologija koje izravno omogućuju efikasniju integraciju obnovljivih izvora energije u energetske sustav te omogućuju da do sada klasična električna mreža funkcionira na stabilniji, precizniji i pametniji način. Glavni zadatak pametnih mreža je inteligentno integriranje akcija svih korisnika koji su priključeni na nju – *prosumeri*, potrošači i čisti generatori energije koji na koncu osiguravaju održivu, ekonomičnu i sigurnu električnu energiju [4]. Europski elektroenergetski sustav jedan je od najvećih u svijetu te broji 400 milijuna korisnika sa (u stalnom porastu) 670 GW instalirane snage sa stalnom rezervom od 80 GW te oko 5 milijuna kilometara električne mreže visokog, srednjeg i niskog napona [14].

Distribuirane energetske mreže su poznate kao međusobno izvanredno povezane mreže koje uz efikasan prijenos energije i informacija omogućuju i 'samooporavljivost' mreže gdje u slučaju greške ili prekida rada, pametna mreža pronalazi nove rute za protok energije i informacija bez ljudske pomoći što dovodi električne mreže na posve novu razinu kada govorimo o otklanjanju greški uslijed mogućih kvarova na mreži.

**Tablica 1. Usporedba električnih mreža [15]**

	Konvencionalna električna mreža	Pametna mreža
Tehnologija	Tradicionalna elektroenergetska infrastruktura. Ne postoji komunikacija među uređajima spojenih na mrežu.	Koristi digitalnu tehnologiju koja omogućuje samoregulaciju i poboljšanu komunikaciju između svih uređaja spojenih na mrežu.
Distribucija energije	Sva električna energija polazi iz centraliziranog generatora. Takav pristup distribuciji energije eliminira mogućnost integriranja alternativnih izvora energije u mrežu.	Električna energija može dolaziti iz više različitih izvora energije što omogućuje bolji balans električne mreže.
Senzori	Infrastruktura nije opremljena suvremenim senzorima što otežava točno određivanje lokacije problema na mreži.	Korištenje senzora u većim količinama koji uslijed kvara samostalno omogućuju efikasno planiranje nove rute toka energije.
Nadzor	Distribucija energije se prati manualno.	Sustav pametne mreže samostalno prati odnos ponude i potražnje za energijom i shodno tome samostalno donosi odluke o uključivanju/isključivanju pojedinih jedinica u energetsom sustavu.
Uloga potrošača	Potrošači su slabo uključeni u aktivnosti unutar mreže.	Potrošači imaju slobodan izbor o tome kako i iz kojeg izvora troše energiju.

### 1.2.2. Tehnologije brzog odziva (*demand response*) i povezivanje sektora (*sector coupling*)

Glavni cilj energetske tranzicije je potpuni prestanak korištenja fosilnih goriva i prebacivanje na čiste, za okoliš prihvatljive izvore energije. Razlikujemo sektore gdje trošimo energiju u različitim oblicima, pa tako uz samu električnu energiju koja služi za pogon električnih uređaja, energiju koristimo za stvaranje toplinske ugodnosti (grijanje i hlađenje stambenih i poslovnih prostora) i transport. Još uvijek veliki broj stambenih i poslovnih prostora u Europskoj Uniji koristi proces izgaranja fosilnih goriva za potrebe grijanja. S druge strane, za potrebe transporta, većina osobnih automobila i transportnih vozila koriste benzinska i dizelska goriva. Najveći izazov za inženjere predstavlja povezivanje svih sektora gdje se koristi energija jer bi to značilo potpuno odbacivanje svih izvora energije (dominantno fosilnih goriva) osim onih čiji su generatori fotonaponske ćelije i vjetroturbine [16]. Drugim riječima, ono čemu se teži je da sve potrebe za energijom namirujemo iz obnovljivih izvora (uključujući grijanje, hlađenje i transport) gdje bi se takva generirana električna energija kasnije pretvarala u razne oblike ovisno o tome gdje ju je potrebno iskoristiti. Za takav pothvat potrebno je osmisliti efikasne metode skladištenja energije za vrijeme kada vjetra i sunca ima u suficitu.

#### 1.2.2.1. Sektor grijanja i hlađenja

*Power to heat* je način pretvorbe energije kojim se konvertira električna u toplinsku energiju. Tako dobivena toplinska energija može poslužiti za zagrijavanje vode koja se potom čuva u velikim spremnicima za korištenje kada obnovljivi izvori ne mogu dati potrebnu energiju za grijanje u smislu zagrijavanja stambenih i poslovnih prostora ili za zagrijavanje potrošne tople vode. *Power to gas* je uz *power to heat* još jedan način iskorištavanja električne energije za potrebe grijanja gdje se električna energija koristi za proces elektrolize gdje se dobiva vodik u kojeg se može dodati  $\text{CO}_2$  pri čemu nastaje metan  $\text{CH}_4$ . Metan dobiven tim načinom može biti iskorišten kao zamjena za dosad korišteni prirodni plin u domaćinstvima i tvrtkama. Biomasa je još jedan od značajnijih izvora koji bi mogao zamijeniti fosilna goriva za potrebe grijanja pri čemu je bitno kontrolirano korištenje biomase kako takav proces ne bi narušio prirodnu ravnotežu. Upravo biomasa može poslužiti za pogon sve više zastupljenih CHP (*Combined Heat and Power*) kotlova i turbina koji u istom procesu mogu proizvesti toplinsku, ali i električnu energiju (kogeneracija).

### ***1.2.3. Fleksibilne termoelektrane***

Kako bi uspostavili održivi energetska sustav termoelektrane će biti prisiljene promijeniti način na koji proizvode i distribuiraju energiju. Način na koji današnje termoelektrane nastoje održavati konstantan tok energije prema mreži je metodom baznog opterećenja gdje termoelektrane koje moraju zadovoljiti bazno (minimalno) opterećenje konstantno rade te samim time dominiraju na tržištu električne energije. Takva dominacija velikih elektrana sprječava mogućnost probijanja alternativnih izvora energije na tržište. U doba energetske tranzicije, termoelektrane bi trebale biti tretirane kao ravnopravan sudionik električne mreže u odnosu na ostale generatore energije i samim time balansirati nedostatke u opskrbi električnom energijom [3].

### ***1.2.4. Korištenje spremnika energije***

Sve većom zastupljenosti električnih automobila na tržištu otvara se još jedna efektivna mogućnost balansiranja potražnje u električnoj mreži. Baterije relativno velikih kapaciteta unutar električnih automobila mogu biti iskorištene za skladištenje električne energije za vremena kada je ona na tržištu preskupa (u vremenima kada je nema u velikim količinama) [3]. Ovakvoj metodi balansiranja potražnje za električnom energijom se pristupa u najvećoj nuždi, tj. onda kada niti jedan od preostalih sustava ne može odgovoriti na potražnju za električnom energijom iz razloga što često korištenje baterije takve vrste može vrlo brzo degradirati kapacitet te iste baterije.

## 2. ZAKONODAVNI OKVIR

### 2.1. Pariški sporazum o klimatskim promjenama

Pariški sporazum postignut je u prosincu 2015. godine te je stupio na snagu u listopadu 2016. nakon što ga je Europska Unija ratificirala [18]. Sporazum postavlja jasne ciljeve koje je potrebno ispuniti na globalnom nivou kako bi smanjili rizik od globalnog zatopljenja u kontekstu održivog razvoja. Ti ciljevi uključuju [17]:

- 1.) Globalni plan pomoću kojeg bi se izbjeglo globalno zagrijavanje planeta iznad 2°C te daljnje nastojanje održavanja limita globalnog zagrijavanja na 1.5°C.
- 2.) Sposobnost prilagodbe na štetne utjecaje klimatskih promjena i smanjenje emisija stakleničkih plinova
- 3.) Usmjeravanje financijskih tokova prema niskim emisijama stakleničkih plinova

Države potpisnice odgovorne su nezavisno izrađivati planove za smanjenje emisija stakleničkih plinova sa posebnim naglaskom na obnovljive izvore energije. Države potpisnice su dužne svakih pet godina izvještavati o napretku i novo zacrtanim ciljevima koji se tiču sprječavanja klimatskih promjena [18].

### 2.2. Čista energija za sve Europljane

Čista energija za sve Europljane naziva se paket mjera predstavljen u studenom 2016. od strane Europske komisije. Paket se sastoji od 40 mjera čiji su glavni ciljevi promicanje energetske učinkovitosti, smanjenje emisija stakleničkih plinova i stvaranje novih radnih mjesta na tržištu obnovljivih izvora energije [20].

U takvom paketu mjera se poseban naglasak postavlja na potrošače i njihovu izraženiju ulogu unutar energetske sustava koji su do sad bili isključivo čisti potrošači te odsad postaju ravnopravni sudionici energetske tržišta koji su u stanju proizvesti energiju i prodavati je na tržištu [19].

Paket mjera ističe potrebu za preustrojem Europskog energetske tržišta upravo iz razloga što efikasnije integracije obnovljivih izvora energije gdje će također samim time distribuirana

proizvodnja električne energije biti od temeljnog značaja za takav novo uspostavljeni energetska sustav [21].

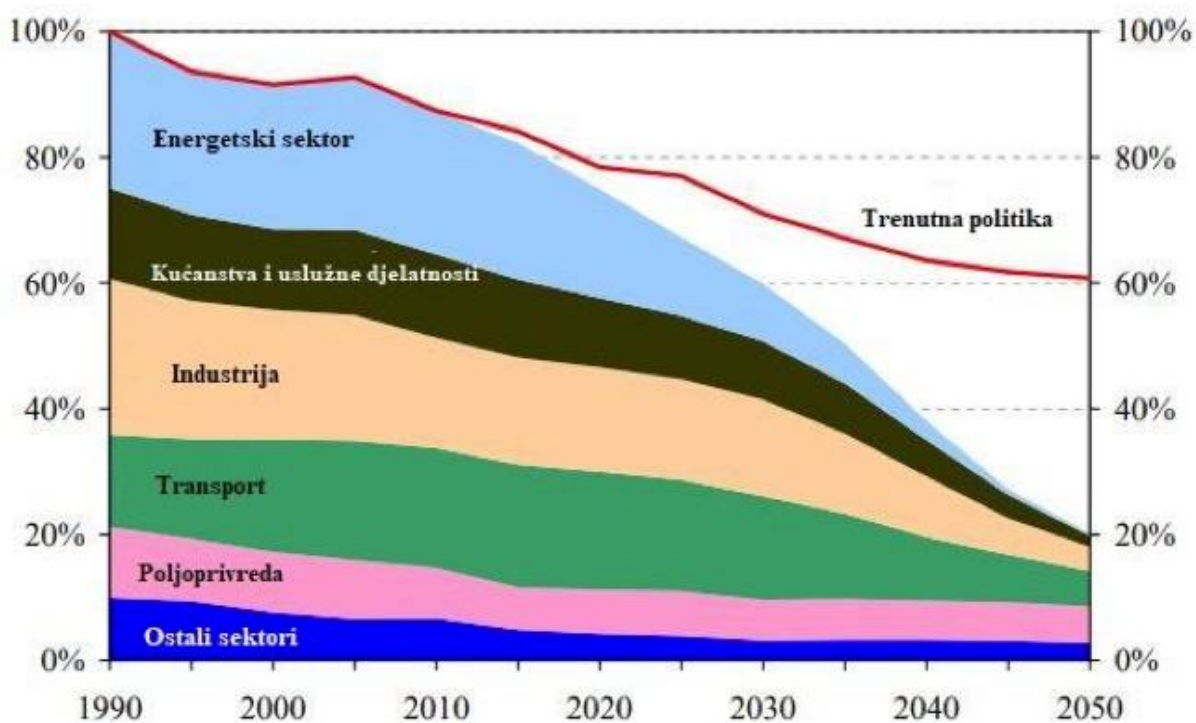
### 2.3. Ciljevi Europske unije do 2050. godine

Današnji tempo kojim se smanjuju emisije stakleničkih plinova još uvijek nije dovoljan kako bi se globalno zatopljenje držalo ispod kritične granice od 2°C. Upravo iz tog razloga Europska komisija postavlja visoki cilj za 2050. godinu kada će emisije stakleničkih plinova biti smanjene za 80-95% u odnosu na 1990. godinu. Isto tako, postavljeni su međuciljevi koji bi trebali olakšati praćenje napretka koji se tiče smanjenja emisija stakleničkih plinova pa tako do 2030. je u cilju smanjenje od 40%, a do 2040. smanjenje od 60% u odnosu na 1990. godinu [22].

U dokumentu Europske komisije, *Energy roadmap 2050*, spominju se 10 ključnih strukturalnih promjena kroz koje će morati proći elektroenergetski sustav kako bi planovi za 2050. bili ispunjeni [22]:

- 1) Dekarbonizacija – Udio u BDP-u koji će elektroenergetski sustav dostići do 2050. prognozirani je na oko 15% što ukazuje na činjenicu da će cjelokupan elektroenergetski sustav imati jednu od značajnijih utjecaja na društvo u cjelini. Kako bi takav razvoj bio održiv, ključno je prebaciti težište sa uvoznih fosilnih energenata na distribuiranu, obnovljivu proizvodnju energije unutar Europske Unije.
- 2) Povećane investicije i niže cijene goriva – Prognoze kumulativnih investicija u Europski elektroenergetski sustav od 2011. do 2050. predviđaju ukupni investirani iznos od 1.5 do 2.2 trilijuna eura.
- 3) Povećanje udjela električne energije u finalnoj potrošnji – očekuje se da do 2050. električna energija udvostruči svoj udio u finalnoj energetska potražnji. Kako bi se postigao takav cilj, biti će ključno elektrificirati sektor grijanja i hlađenja i transport.
- 4) Rast cijene električne energije do 2030., zatim kontinuirani pad do 2050. – rast cijene električne energije do 2030. može se pripisati starim i dotrajalim sustavima koji su u fazi gašenja. Sve većom zastupljenosti obnovljivih izvora cijena električne energije će polako zaustavljati svoj porast te krenuti padati nakon 2030.
- 5) Rast troškova kućanstava – troškovi na energiju i sve čimbenike povezane sa potrošnjom energije će postupno rasti upravo zbog sve većeg napretka što se tiče proizvodnje i distribucije energije.

- 6) Štednja energije – Trend ekonomskog rasta koji je bio popraćen sa sve većom potrošnjom energije morati će biti prekinut te će fokus biti prebačen na štednju energije i efikasnost.
- 7) Porast udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj proizvodnji energije – u najboljem scenariju za 2050. udio obnovljivih izvora energije u finalnoj potrošnji prognozirani je na 97%.
- 8) *Carbon capture and storage* kao jedan od ključnih stavki u tranziciji – proces izdvajanja emitiranog CO<sub>2</sub> iz emisija jedne elektrane te manipuliranje istim tako da ne postoji utjecaj na atmosferu (upumpavanje u duboke strukture tla).
- 9) Važna uloga nuklearne energije – nuklearna energija će imati važnu ulogu u procesu tranzicije upravo zbog svog kapaciteta u niskougljičnoj proizvodnji električne energije.
- 10) Bolja komunikacija između centraliziranih i decentraliziranih sustava – centralizirani sustavi (nuklearne elektrane i elektrane na prirodni plin) će pojačavati svoju fleksibilnost koja će biti omogućena sve boljom komunikacijom između centraliziranih i decentraliziranih proizvođača energije.



Slika 5. Emisija stakleničkih plinova po sektoru do 2050. godine [23]



## 2.4. Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji

Republika Hrvatska dužna je Europskoj komisiji podnositi izvješća koja bi trebala usmjeravati na napredak u pogledu korištenja obnovljivih izvora energije. Do 2020. godine, udio obnovljivih izvora energije na razini Europske Unije trebao bi dostići 20%. Očekuje se da svaka država članica radi na svom planu smanjenja emisija stakleničkih plinova i teži što bržoj implementaciji obnovljivih izvora pa je tako i Republika Hrvatska usvojila niz zakona koji omogućuju sve jednostavnije korištenje suvremenih generatora energije [24]. Bitni regulatorni ciljevi postavljeni u članku 1. zakona uključuju [25]:

1. Planiranje i poticanje proizvodnje i potrošnje električne energije proizvedene u postrojenjima koja koriste obnovljive izvore energije gdje se utvrđuju mjere poticanja za proizvodnju energije takve vrste.
2. Uređenje provedba ustava poticanja proizvodnje energije iz obnovljivih izvora.
3. Rješavanje pitanja izgradnje postrojenja obnovljivih izvora energije na državnom zemljištu.
4. Uređenje vođenja registra obnovljivih izvora energije.
5. Rješavanje pitanja međunarodne suradnje koja se tiču razvitka sektora proizvodnje energije iz obnovljivih izvora.
6. Uređenje drugih pitanja koja su u vezi proizvodnje i potrošnje energije iz obnovljivih izvora.

Vrlo bitan članak zakona ističe se kao članak 44. gdje se uz sve potrebne uvjete koje potrošač sa vlastitom proizvodnjom energije mora zadovoljiti, isto tako definira i cijena po kojoj će opskrbljivač električnom energijom otkupiti električnu energiju od *prosumera* [25].

1.  $C_i = 0,9 \cdot PKC_i$ , ako za obračunsko razdoblje  $i$  vrijedi:

$$E_{p_i} \geq E_{i_i}$$

2.  $C_i = 0,9 \cdot PKC_i \cdot (E_{p_i}/E_{i_i})$ , ako za obračunsko razdoblje  $i$  vrijedi:

$$E_{p_i} < E_{i_i}$$

gdje je:

$E_{p_i}$  – ukupna električna energije preuzeta iz mreže od strane kupca unutar obračunskog razdoblja  $i$ , izražena u kn/kWh

$E_{i_i}$  – ukupna električna energija isporučena u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu kupca unutar obračunskog razdoblja  $i$ , izražena u kn/kWh

$PKC_i$  – prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju, bez naknada za korištenje mreže te drugih naknada i poreza, unutar obračunskog razdoblja  $i$ , izražena u kn/kWh.

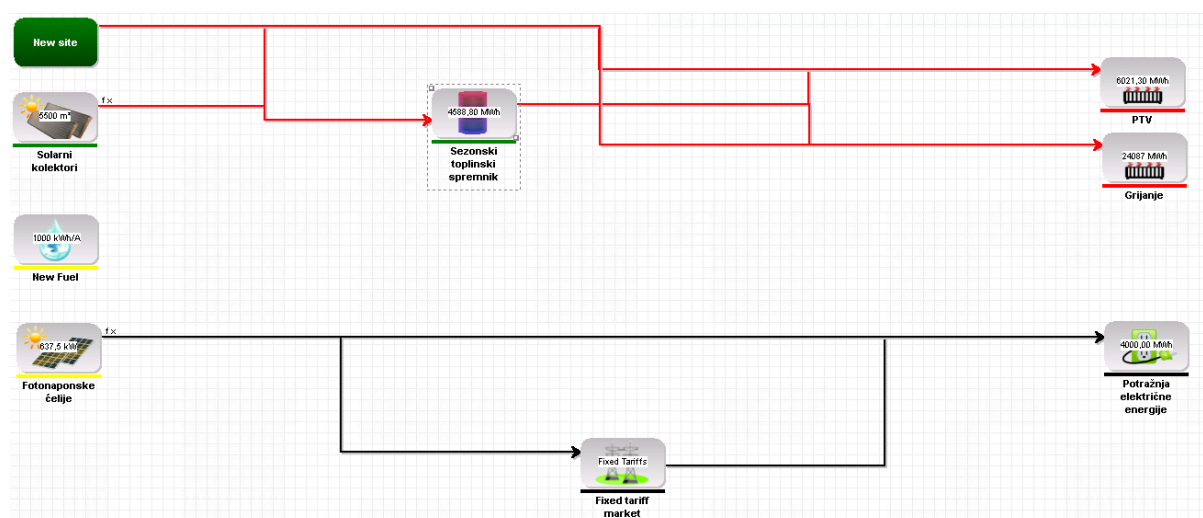
Prodaja toplinske energije u centralizirani toplinski sustav još uvijek nije regulirana unutar zakona Republike Hrvatske te samim time još uvijek nije moguće takvo rješavanje problema opskrbe kućanstava toplotom.

### 3. METODA

U ovom poglavlju biti će prikazani alati koji su korišteni u ovom radu u svrhu obrađivanja ulaznih podataka te na kraju analizu dobivenih rezultata.

#### 3.1. EnergyPRO

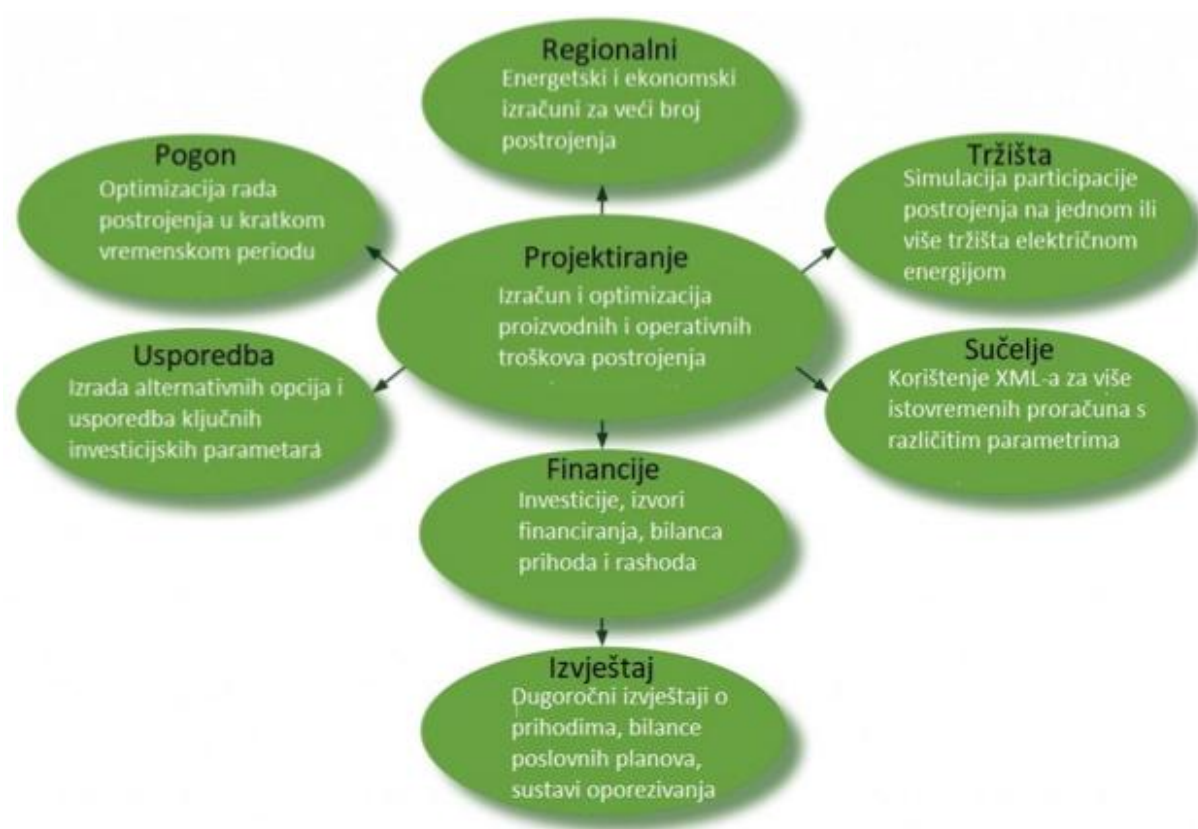
EMD International A/S je globalna kompanija koja se bavi razvijanjem softvera i konzultantskim uslugama širom svijeta na području projektiranja, planiranja i dokumentacije projekata koji su u direktnoj vezi sa projektima vezanim za distribuirane energetske izvore. EMD ima glavno sjedište kompanije u danskom gradu Aalborg, dok su manji uredi tvrtke EMD raspoređeni širom svijeta [26]. Spomenuta tvrtka je odgovorna upravo za razvitak i nadogradnju programskog sučelja EnergyPRO koji uključuje kompletno programsko sučelje kojim je moguće provesti kombinaciju tehnoekonomske proračuna, dizajna, analize i optimizacije pojedinih energetskih sustava. Takav softver dopušta modeliranje energetskih sustava koji koriste konvencionalna goriva, ali i one koji koriste najnovije tehnologije kada govorimo o proizvodnji energije (PV, solarne ćelije, vjetroelektrane, geotermalni izvori). U proteklih 20 godina nadograđeno je preko 50 verzija takvog softvera u svrhu poboljšanja korisničkog iskustva i optimizacije rada softvera zbog ubrzanog razvitka tehnologija koje su direktno u vezi sa obnovljivim izvorima. U ovom trenutku postoji preko 1000 korisnika softvera koji nudi kompanija EMD raspoređenih preko 16 zemalja svijeta koji se može nabaviti po cijeni u rasponu od 2700€-5600€ pri čemu cijena ovisi od odabranog modula softvera [27].



Slika 6. Primjer modela izrađenog pomoću alata EnergyPRO

EnergyPRO baziran je na modularnoj strukturi koja omogućuje razne vrste analiza. U sklopu paketa EnergyPRO nalaze se osam različitih modula koji uključuju:

- Projektiranje (eng. *Design*)
- Financije (eng. *Finance*)
- Izvještaj (eng. *Accounts*)
- Pogon (eng. *Operation*)
- Regionalni (eng. *Region*)
- Tržišta (eng. *Markets*)
- Sučelje (eng. *Interface*)
- Usporedba (eng. *Compare*)

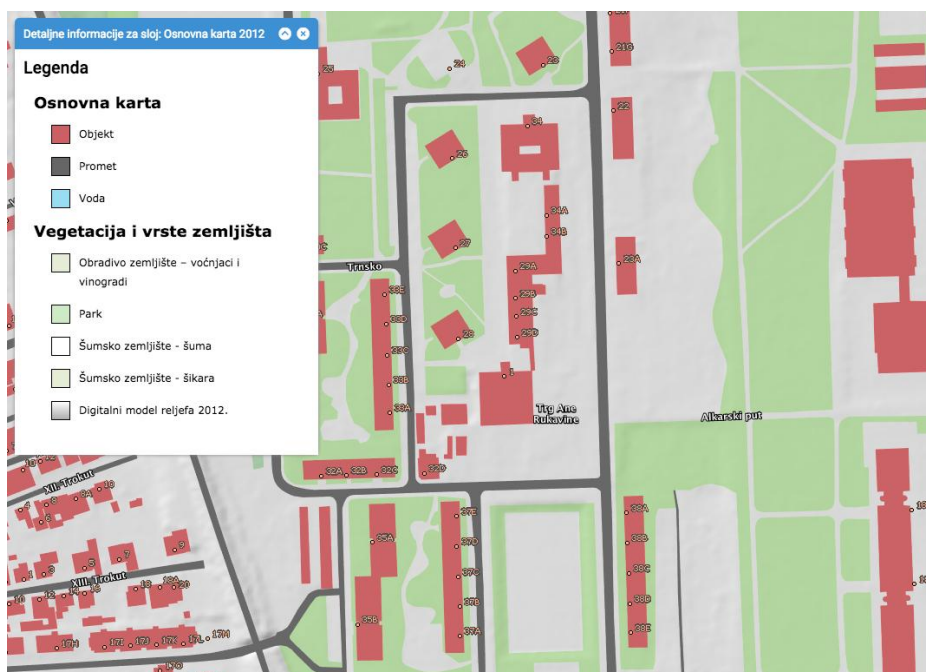


Slika 7. Moduli u EnergyPRO alatu [23]

EnergyPRO koristi godišnje satne distribucijske krivulje (temperature zraka, potrebe za električnom energijom, ozračenost Zemljine plohe, cijene električne energije...) uz podatke kapaciteta električnih i toplinskih postrojenja kao ulazne podatke na temelju kojih računa izlazne parametre kao što su proizvodnja električne i toplinske energije, uvoz i izvoz energije i emisije CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>.

### 3.2. Geoportali

Geoportal je vrsta internetskih stranica gdje je omogućen pristup geografskim podacima i povezanim geografskim alatima koji služe za što bolji prikaz prikupljenih podataka unutar geoportala. Državna tijela vlasti koriste geoportale kako bi javno i transparentno prikazali geografske podatke koji mogu biti iskorišteni u profesionalne ili neformalne svrhe. Konkretno, unutar geoportala moguće je pristupiti podacima raznih vrsta kao što su: katastarski plan, registar prostornih jedinica, statistički podaci o stanovništvu te vrsta i namjena zemljišta [28]. Za potrebe ovog rada, kao najznačajnija funkcija ponuđenog geoportala grada Zagreba bio je iskorišten alat pomoću kojeg je bilo moguće izmjeriti površinu krovova kuća i zgrada na koje bi bili instalirani solarni kolektori i fotonaponske ćelije.



Slika 8. Mjerenje površine krovova preko geoportala [29]

### 3.3. Izračun ekonomskih pokazatelja

Isplativost pojedinih scenarija moguće je ocijeniti na temelju izračuna ekonomskih pokazatelja. Konkretno, računa se godišnji trošak za pojedini scenarij za svaku od korištenih tehnologija koje proizvode toplinsku i električnu energiju. Rashodi se javljaju pri proizvodnji i potrošnji električne i toplinske energije te se dijele na:

- Investicijski trošak
- Fiksni godišnji trošak održavanja
- Varijabilni godišnji trošak održavanja
- Trošak goriva
- Trošak otkupljene električne energije
- Trošak otkupljene toplinske energije

Prihodima se smatraju toplinska i električna energija predana u mrežu te one smanjuju ukupni godišnji trošak. Ukupni godišnji trošak se računa prema formuli [23]:

$$AC_a = \sum CC_{i,a} + \sum FO \& M_{i,a} + \sum VO \& M_{i,a} + \sum FC_{i,a} + C_{el,a} + C_{h,a} - (S_{el,a} + S_{h,a}) \quad (1)$$

Gdje je:

$AC_a$  – ukupni godišnji trošak proizvodnje i potrošnje električne i toplinske energije [kn]

$CC_{i,a}$  – godišnji investicijski trošak proizvodne jedinice  $i$  [kn]

$FO \& M_{i,a}$  – godišnji fiksni trošak održavanja proizvodne jedinice  $i$  [kn]

$VO \& M_{i,a}$  – godišnji varijabilni trošak održavanja proizvodne jedinice  $i$  [kn]

$FC_{i,a}$  – godišnji trošak goriva proizvodne jedinice  $i$  [kn]

$C_{el,a}$  – godišnji trošak električne energije otkupljene iz mreže [kn]

$C_{h,a}$  – godišnji trošak toplinske energije otkupljene iz mreže [kn]

$S_{el,a}$  – godišnji prihod ostvaren prodajom električne energije [kn]

$S_{h,a}$  – godišnji prihod ostvaren prodajom toplinske energije [kn]

Godišnji investicijski trošak proizvodne jedinice  $i$ ,  $CC_{i,a}$ , računa se pomoću jednadžbe :

$$CC_{i,a} = IC_i * CRF_i * P_i \quad (2)$$

gdje je:

$IC_i$  – investicijski trošak proizvodne jedinice  $i$  [kn/MW]

$P_i$  – instalirana snaga proizvodne jedinice  $i$  [MW]

CRF – faktor povrata kapitala

Godišnji fiksni trošak održavanja proizvodne jedinice  $i$ ,  $FO\&M_{i,a}$ , računa se pomoću jednadžbe:

$$FO\&M_{i,a} = FO\&M_i * P_i \quad (3)$$

gdje je:

$FO\&M_i$  – fiksni trošak održavanja proizvodne jedinice  $i$  [kn/MW]

Godišnji varijabilni trošak proizvodne jedinice  $i$ ,  $VO\&M_{i,a}$ , računa se prema jednadžbi:

$$VO\&M_{i,a} = VO\&M_i * 8760h * CF * P_i \quad (4)$$

gdje je:

$VO\&M_i$  – varijabilni trošak proizvodnje energije proizvodne jedinice  $i$  [kn/MWh]

CF – faktor opterećenja, postotak vremena u kojem proizvodna jedinica radi pri punoj snazi

Godišnji trošak goriva proizvodne jedinice  $i$ ,  $FC_{i,a}$ , dobiva se pomoću jednadžbe:

$$FC_{i,a} = (FC_i / \eta_i) * 8760h * CF * P_i \quad (5)$$

gdje je:

$FC_i$  – trošak goriva koje se koristi za pogon proizvodne jedinice  $i$  [kn/MWh]

$\eta_i$  – učinkovitost proizvodne jedinice  $i$  [%]

Godišnji trošak električne energije otkupljene iz mreže  $C_{el,a}$  dobiva se pomoću jednadžbe:

$$C_{el,a} = \sum C_{el,j} * E_{el,j} \quad (6)$$

$C_{el,j}$  – cijena električne energije, otkupljene po tarifi  $j$  [kn/MWh]

$E_{el,j}$  – električna energija, otkupljena po tarifi  $j$  [MWh]

Godišnji prihod ostvaren prodajom električne energije,  $S_{el,a}$  dobiva se pomoću jednadžbe:

$$S_{el,a} = \sum E_{el,l} * S_{el,l} \quad (7)$$

$E_{el,l}$  – električna energija isporučena mreži pri cijeni električne energije  $l$  [MWh]

$S_{el,l}$  – prodajna cijena električne energije pri cijeni električne energije  $l$  [kn/MWh]

### 3.4. Izračun emisije CO<sub>2</sub>

Računanje emisije CO<sub>2</sub> provodi se množenjem poznatog utroška pojedinog goriva s faktorom emisije CO<sub>2</sub>. Faktor emisije predstavlja prosječnu vrijednost mase CO<sub>2</sub> koji se oslobađa po jedinici energije. Jednadžba koja daje ukupnu emisiju CO<sub>2</sub> [23]:

$$m_{\text{CO}_2, \text{uk}} = \sum m_{\text{CO}_2, i} * u_i \quad (8)$$

$m_{\text{CO}_2, \text{uk}}$  – specifična ukupna emisija CO<sub>2</sub> [kg/MWh]

$u_i$  – udio i-tog energenta

$m_{\text{CO}_2, i}$  – specifične emisije CO<sub>2</sub> i-tog energenta [kg/MWh]

**Tablica 2. Specifični faktori emisije CO<sub>2</sub> po jedinici goriva [35]**

Izvor energije	Faktor emisije CO <sub>2</sub> [kgCO <sub>2</sub> /MWh]
Prirodni plin	220
CTS	257
Električna energija	376



## 4. ANALIZA GRADSKOG NASELJA LANIŠTE

### 4.1. Opći podaci o naselju

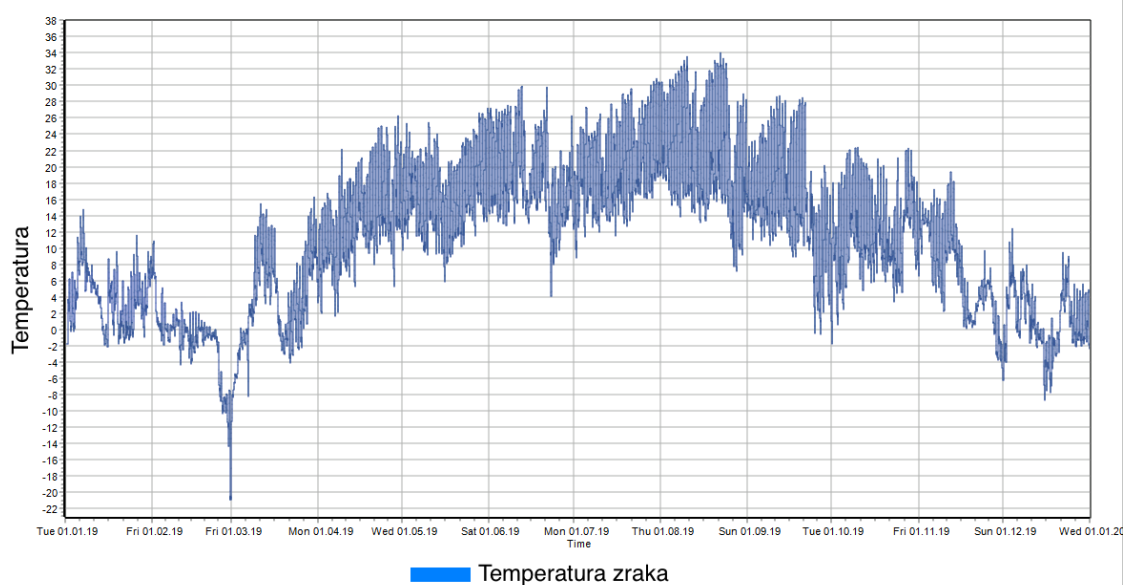
Nalazeći se na samom jugu grada Zagreba, gradsko naselje Lanište smjestilo se unutar zagrebačke gradske četvrti Novi Zagreb. Prema popisu stanovništva iz 2011. godine, Lanište kao gradsko naselje ima 3214 stanovnika. Naselje se pretežno sastoji od stambenih zgrada sa ravnim krovovima na kojima postoji slobodan prostor za instalaciju solarnih panela i fotonaponskih ćelija. U trenutnoj situaciji naselje za potrebe grijanja i zagrijavanja PTV (potrošne tople vode) koristi individualno instalirane plinske kotlove te isto tako nije povezano sa toplovodnom mrežom na centralizirani toplinski sustav (CTS).



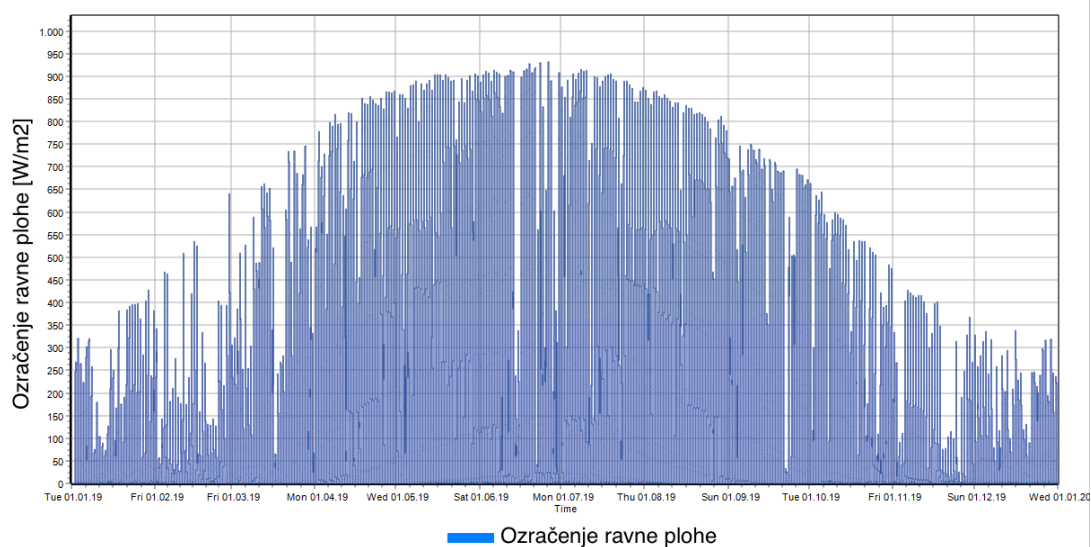
**Slika 9. Snimka Laništa iz zraka (područje unutar crvene linije) [29]**

## 4.2. Meteorološki podaci

Potrebni meteorološki podaci koji su bili iskorišteni kao ulazni podaci za modeliranje energetske potrošnje Laništa su temperatura zraka i ozračenje Zemljine plohe za to područje grada Zagreba. Konkretno, takvi ulazni podaci potrebni su za računanje električne snage koju mogu dati fotonaponske ćelije i toplinske energije koju bi osigurali solarni kolektori. Takvu vrstu podataka nudi sam program EnergyPRO, koji u sebi sadrži podatke u obliku CFSR 2 (eng. *Climate Forecast System Reanalysis*) datoteke koja sadrži informacije o temperaturi, vlažnosti, oborinama, sunčevom zračenju i brzini vjetra za odabrano područje na karti.



Slika 10. Godišnja satna temperaturna distribucija

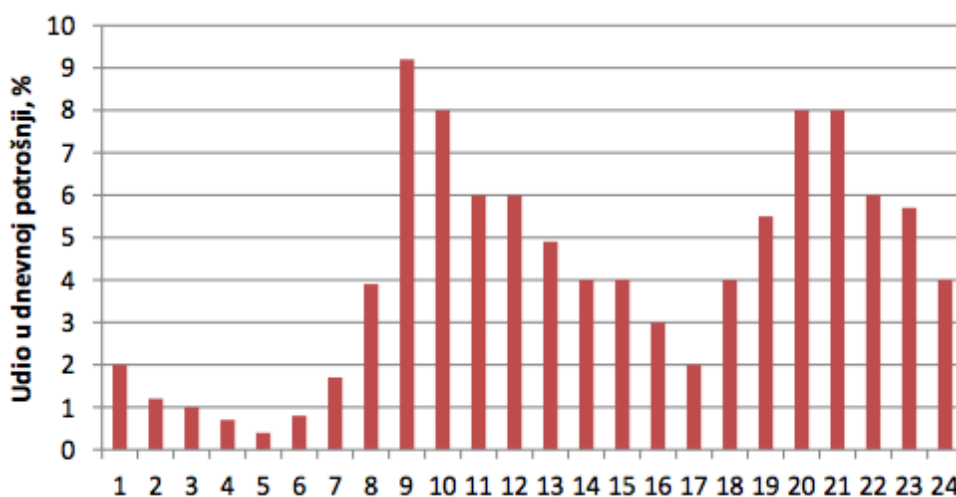


Slika 11. Godišnja satna distribucija ozračenja Zemljine površine

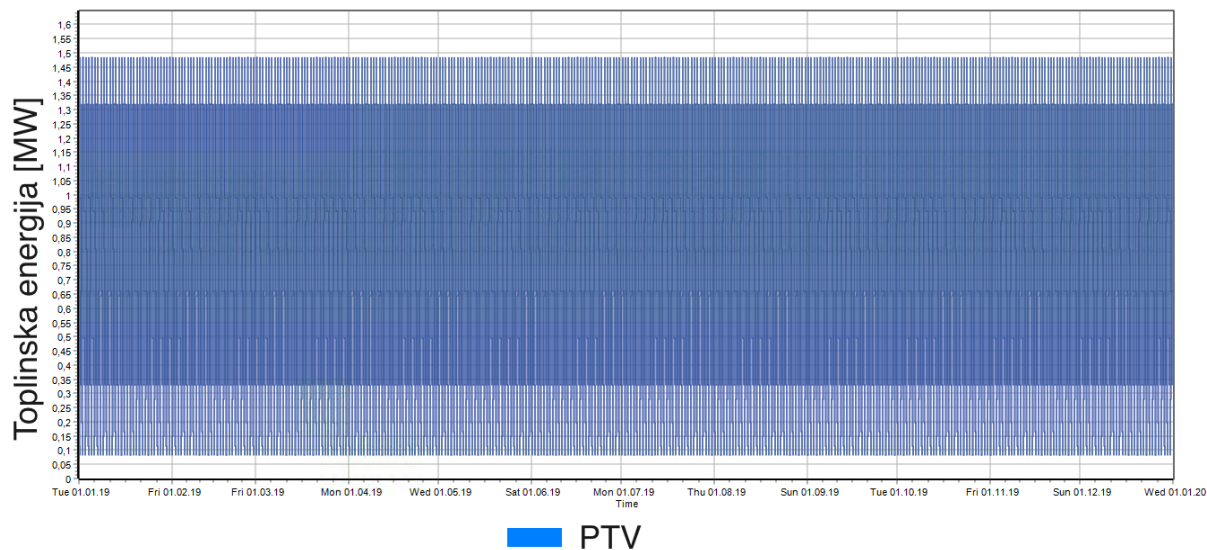
### 4.3. Toplinske potrebe

Toplinske potrebe nekog gradskog naselja mogu se podijeliti na potrebe za toplinom za zagrijavanje prostora radi stvaranja toplinske ugodnosti i na potrebe za toplinom za zagrijavanje potrošne tople vode (PTV). Ukupan iznos potrebne toplinske energije (dobiven od mentora) za cijelu godinu iznosi 30109,14 MWh. Kao što je rečeno, taj iznos toplinske energije će biti raspodijeljen na potrebe grijanja i zagrijavanje potrošne tople vode. U ovom radu pretpostavljeno je da stanovnici Laništa na sličan način troše energiju za grijanje i zagrijavanje potrošne tople vode, odnosno da ukupnu toplinsku energiju raspodjeljuju u istom omjeru na grijanje i PTV kao i stanovnici bliskog naselja Trnskog [23]. Prema tome, od ukupne toplinske energije od 30109,14 MWh, 20% se potroši na zagrijavanje potrošne tople vode, odnosno 6021,83 MWh. S druge strane, ostalih 80% toplinske energije otpada na potrebe grijanja prostora, odnosno 24087,31 MWh.

Kod potrošne tople vode postoji razlika u dnevnoj potražnji za toplom vodom, tj. tijekom dana će varirati potrebna toplinska energija koju treba utrošiti na zagrijavanje vode.

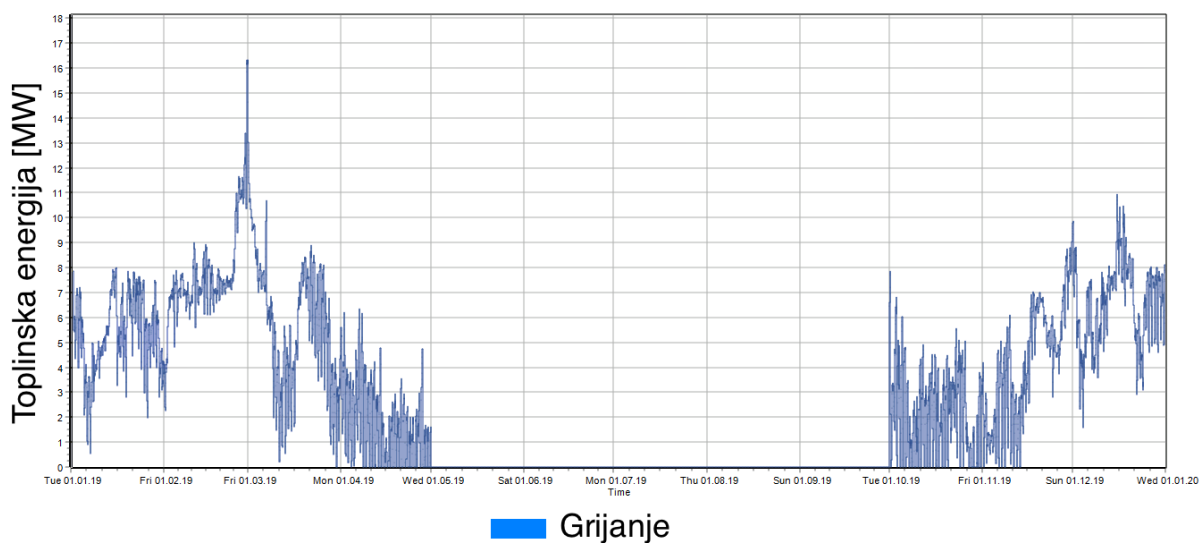


Slika 12. Dnevna postotna potreba za PTV [23]



**Slika 13. Godišnja distribucija toplinske energije za PTV**

Za potrebe grijanja nije postavljena fiksna granica što se tiče dnevne ili mjesečne potrošnje, već je postavljena referentna temperatura od  $16^{\circ}\text{C}$  ispod koje se sustav grijanja počinje uključivati. Isto tako, sezona grijanja je ograničena na razdoblje od 1.10.-30.4. Potrebna toplina koju solarni kolektori nisu u mogućnosti proizvesti, bit će nadoknađena iz CTS-a.



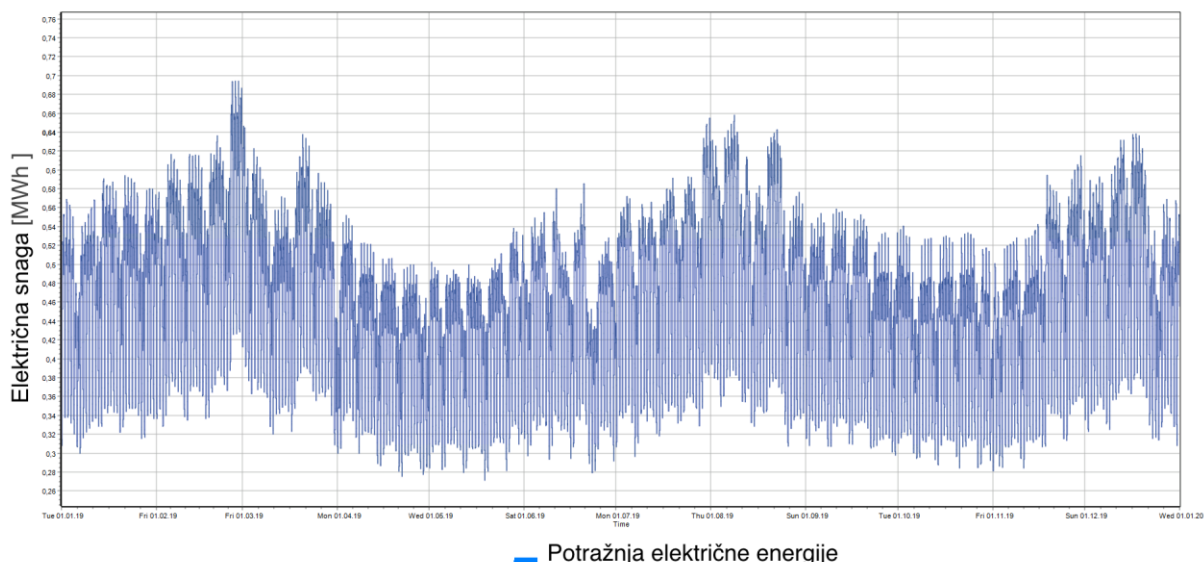
**Slika 14. Godišnja distribucija toplinske energije za grijanje**

#### 4.4. Potrebe za električnom energijom

Da bi dobili godišnju satnu distribuciju električne snage za Lanište, potrebno je poznavati prvo satnu distribucijsku krivulju električne snage za Republiku Hrvatsku (ENTSO-E) [30]. Ukupna potrebna električna energija za Lanište dobivena je preko internetskog portala [31] na kojem su dostupne GIS karte Republike Hrvatske izrađene u sklopu RESFLEX projekta. U sklopu GIS karte dostupne su informacije o potrebama za toplinskom i električnom energijom. Ukupna potražnja za električnom energijom iznosi 4000 MWh.

Cijene po kojima potrošač kupuje električnu energiju iz mreže obračunava se preko tarifnih modela. Tarifni model BIJELI mogu izabrati kupci s višefaznim brojilima. Prema takvom tarifnom modelu razlikujemo dvije cijene električne energije u različitim razdobljima kroz dan. U višoj tarifi (VT) koja se obračunava u vremenu 7-21h zimi i 8-22h ljeti cijena električne energije iznosi 0,95 kn/kWh, dok u nižoj tarifi (NT) koja traje 21-7h zimi i 22-8h ljeti cijena električne energije je 0,46 kn/kWh.

Uvjeti pod kojima potrošač prodaje vlastitu proizvedenu električnu energiju su objašnjeni u poglavlju zakonodavnog okvira .



Slika 15. Distribucija električne snage za Lanište



#### 4.5. Dostupne površine krovova za postavljanje solara i fotonaponskih ćelija i duljina toplovoda



Slika 16. Prikaz tlocrta zgrada u Laništu [29]

Kao što je već spomenuto u 3. poglavlju, površina krovova zgrada u Laništu određena je pomoću web alata Geoportali i dobivena je ukupna površina krovova u iznosu od  $38093 \text{ m}^2$ . Prema literaturi (32) postoji udio ukupne površine krovova koja je iskoristiva za postavljanje solarnih panela i fotonaponskih ćelija koja se kreće u rasponu od 6,5 – 59%. Za slučaj Laništa, odabran je udio od 30% od ukupne površine kao raspoloživ za instalaciju solarnih panela i fotonaponskih ćelija što iznosi  $11427 \text{ m}^2$ . Ta raspoloživa površina je raspodijeljena na način da je površina solarnih kolektora  $5524 \text{ m}^2$ , a površina instaliranih fotonaponskih ćelija  $5903 \text{ m}^2$ .

Također, preko geoportala je izmjerena potrebna duljina toplovoda koji bi trebali biti izgrađeni za transfer topline između toplane i pojedinih stambenih jedinica. Izmjerena duljina toplovoda je 2566 metara.

## 5. SCENARIJI

U ovom radu bit će analizirana dva scenarija gdje će se koristiti tehnologije koje otvaraju mogućnost vlastite proizvodnje energije. Uz ta dva scenarija bit će prikazan i referentni scenarij koji pokazuje sadašnje stanje stvari.

**Tablica 3. Korištene tehnologije po scenarijima**

Referentni scenarij		Scenarij 1		Scenarij 2	
Toplinska energija	Električna energija	Toplinska energija	Električna energija	Toplinska energija	Električna energija
Plinski kotlovi	Iz mreže	Solarni kolektori	Iz mreže	Solarni kolektori	Iz mreže
		CTS	Fotonaponske ćelije	CTS	Fotonaponske ćelije
				Toplinski spremnik	

U prvom i drugom scenariju toplina koju ne proizvedu solarni kolektori, bit će nadoknađena iz CTS-a. Lanište danas nema sustav toplovodne mreže te će u investicijske troškove biti potrebno uračunati troškove izgradnje toplovodnih cijevi koje će povezati cijelo naselje sa CTS-om.

### 5.1. Referentni scenarij

U referentnom scenariju prikazat će se današnje stanje po pitanju proizvodnje toplinske i električne energije. Za proizvodnju toplinske energije kućanstva koriste individualno instalirane plinske kotlove. U Laništu se nalazi 1202 kućanstva. Prema [33] snaga jednog plinskog kotla je 10 kW. Dakle, ukupna snaga instaliranih plinskih kotlova je 12,02 MW. Zbroj troškova investicije u jedan plinski kotao i dodatnih specifičnih troškova koji idu uz instalaciju plinskog kotla je 37995 kn. Ukupna investicija za cijelo naselje je 45669990 kn. Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje i pripremu potrošne tople vode za Lanište je 30109,4 MWh. Efikasnost plinskog kotla 97% što znači da će biti potrebno potrošiti 31040,62

MWh prirodnog plina. Cijena plina u Hrvatskoj je 305 kn/MWh [34], prema tome, trošak za pogon plinskih kotlova je 9467389,1 kn. Emisija CO<sub>2</sub> dobiva se množenjem ukupne potrošnje plina sa njegovim emisijskim faktorom. Emisijski faktor CO<sub>2</sub> iznosi 220,20 kg CO<sub>2</sub>/MWh. Ukupna emisija CO<sub>2</sub> iznosi 6835,14 tCO<sub>2</sub>.

**Tablica 4. Podaci individualnih plinskih kotlova [33]**

Snaga jednog plinskog kotla [kW]	10
Efikasnost [%]	97
Pomoćna potrošnja električne energije [kW/god]	140
Životni vijek [god]	20
Cijena individualne investicije [kn]	23095
Dodatni individualni specifični troškovi [kn]	14900

## 5.2. Scenarij 1

Dostupne tehnologije u prvom scenariju koje omogućuju vlastitu proizvodnju toplinske i električne energije su solarni kolektori i fotonaponske ćelije. Modeli solarnih kolektora i fotonaponskih ćelija identični su onim korištenim za modeliranje proizvodnje topline naselja Trnsko [23]. Kut nagiba solarnih kolektora u odnosu na Zemljinu površinu je 35°.

**Tablica 5. Specifikacija solarnih kolektora [23]**

Parametar	Vrijednost
$\eta_a$	0,827
$a_1[\text{W/m}^2\text{°C}]$	1,18
$a_2[\text{W/m}^2\text{°C}]$	0,032
$K^\ominus$	0,968

Kao model fotonaponskih ćelija uzet je modul tvrtke Mitsubishi Electric, model PV-MLT260HC. Nagib fotonaponskih ćelija u odnosu na Zemljinu površinu je također 35°.

Ukupna površina na kojoj su instalirani solarni kolektori iznosi 5500 m<sup>2</sup>. Preostala raspoloživa površina krovova namijenjena instalaciji fotonaponskih ćelija iznosi 5903 m<sup>2</sup> što odgovara ukupnoj snazi fotonaponskih ćelija od 637,5 kW.



**Tablica 6. Specifikacija fotonaponskih ćelija [23]**

Parametar	Vrijednost
P <sub>max</sub> [W]	260
k <sub>Pmax</sub> [%/°C]	-0,450
NOCT[°C]	47

### 5.3. Scenarij 2

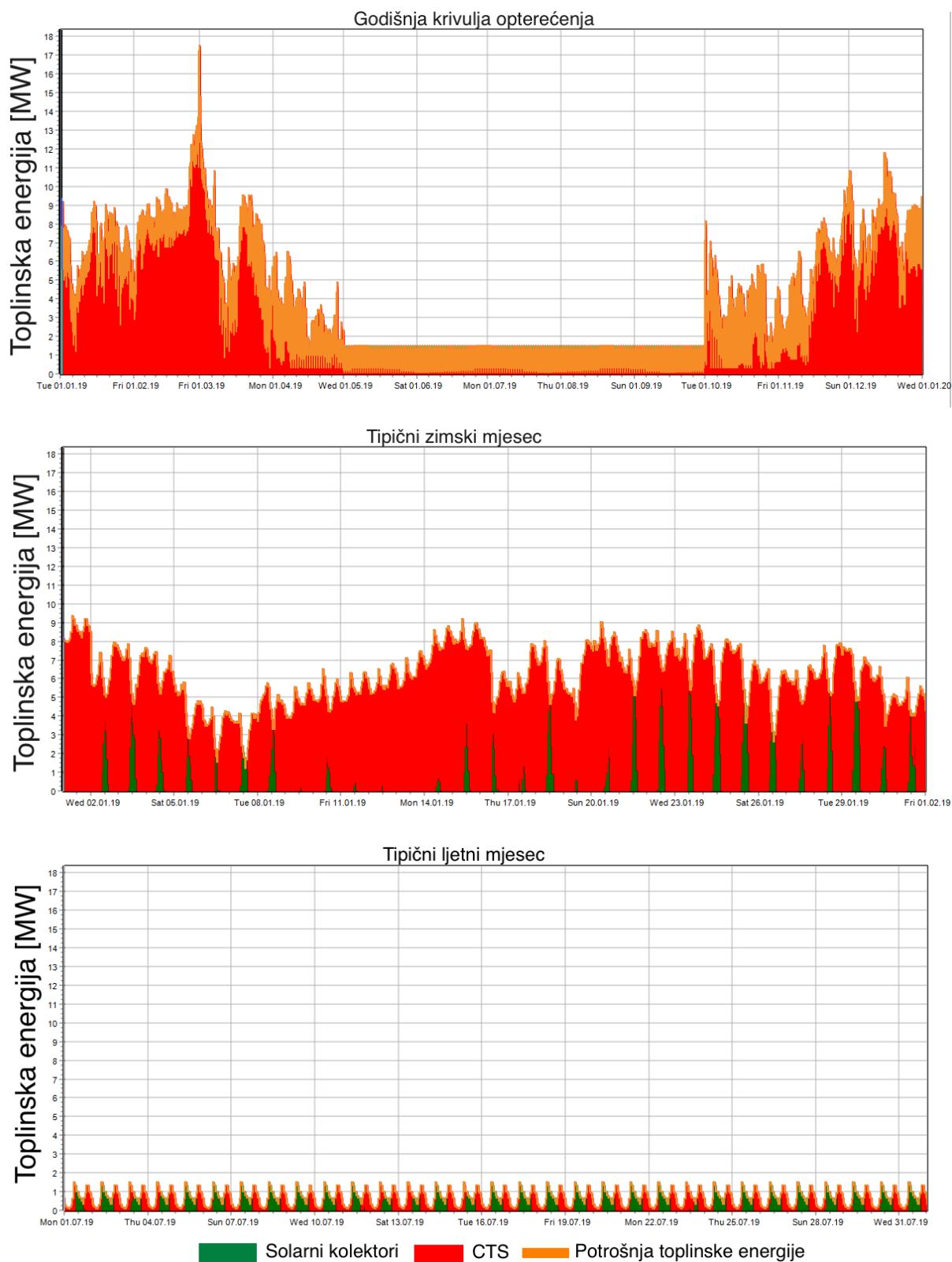
U drugom scenariju će biti iskorištene iste tehnologije pomoću kojih će se proizvoditi električna i toplinska energija (fotonaponske ćelije i solarni kolektori). Dodana komponenta je sezonski toplinski spremnik koji ima sposobnost skladištenja toplinske energije u onim trenucima kada proizvodnja topline iz solarnih kolektora premaši potražnju toplinske energije. Tako sačuvana toplinska energija bit će iskorištena u trenucima kada solarni kolektori neće biti u mogućnosti isporučiti potrebnu toplinsku energiju. U modelu je korišten spremnik zapremnine 128000 m<sup>3</sup>.

## **6. REZULTATI**

U ovome poglavlju bit će prikazani rezultati dobiveni modeliranjem u računalnom programu EnergyPRO. Prikazat će se:

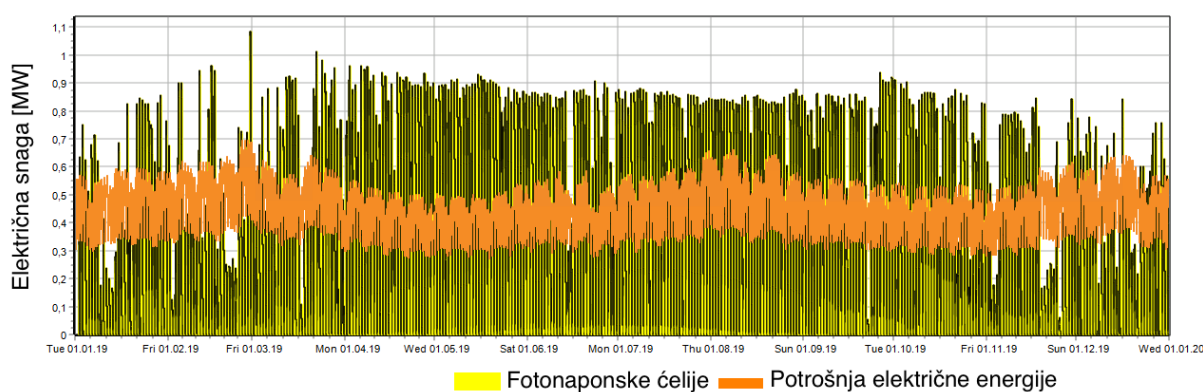
- Godišnja krivulja proizvodnje toplinske energije
- Godišnja krivulja proizvodnje električne energije
- Krivulja proizvodnje toplinske energije u karakterističnim ljetnim i zimskim mjesecima
- Krivulja trajanja toplinskog opterećenja
- Krivulja trajanja električnog opterećenja

## 6.1. Scenarij 1



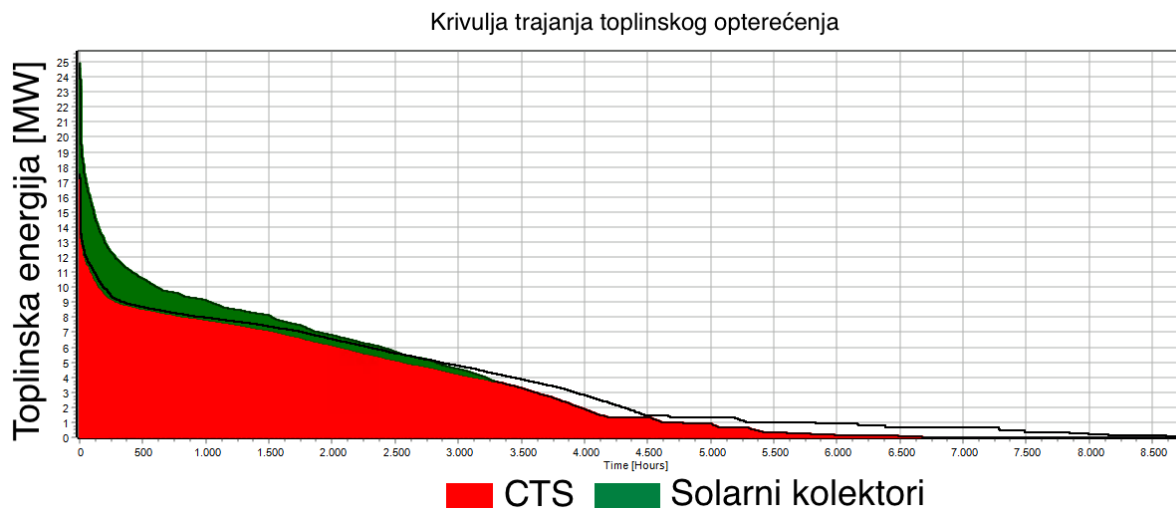
**Slika 17. Godišnja krivulja proizvodnje toplinske energije i prikaz tipičnih mjeseci**

Slika 17 prikazuje godišnju proizvodnju toplinske energije i krivulje proizvodnje toplinske energije za karakterističan ljetni i zimski mjesec. Većina toplinske energije se dobiva iz toplane (26150,8 MWh; 86,9%) dok preostali dio proizvode solarni kolektori (3957,5 MWh; 13,1%).



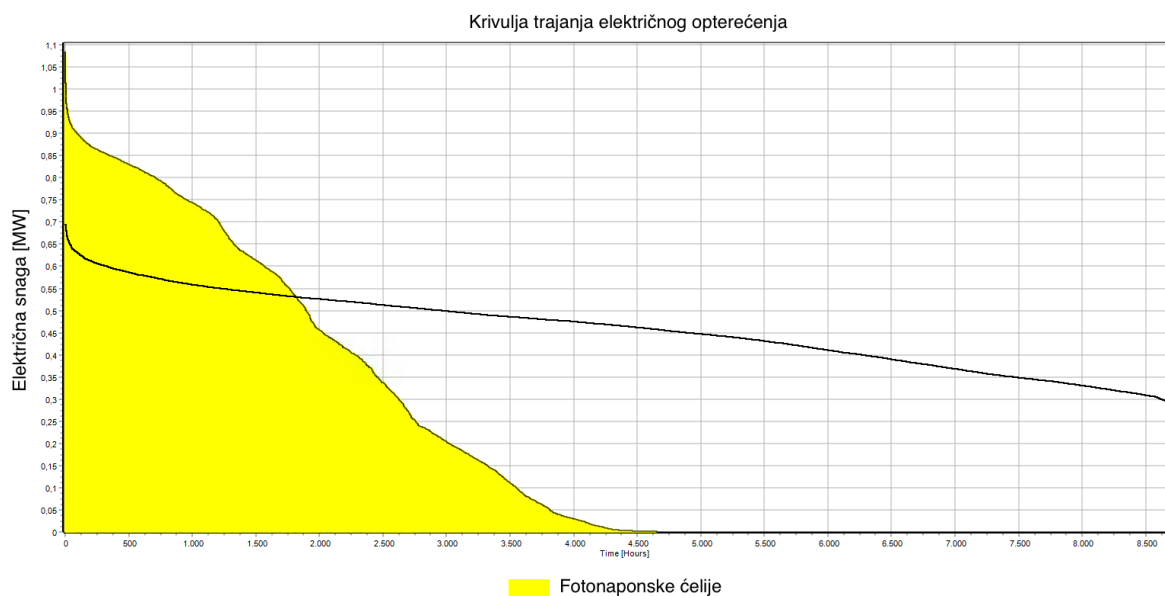
**Slika 18. Godišnja krivulja proizvodnje električne energije**

Slika 18 prikazuje krivulju godišnje proizvodnje električne energije. Proizvođač električne energije su fotonaponske ćelije te se iz krivulje može vidjeti da postoji električna energija isporučena u mrežu (452,1 MWh). Proizvodnja fotonaponskih ćelija iznosi 1894,7 MWh dok je iznos električne energije preuzet iz mreže 2557,4 MWh. Treba napomenuti da u ovom scenariju priključna snaga krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom u smjeru isporuke električne energije ne prelazi priključnu snagu kupaca u smjeru preuzimanja električne energije. Drugim riječima, ukupna instalirana snaga fotonaponskih ćelija (637,5 kW) nije veća od maksimalne godišnje snage električne energije (694,3 kW)



**Slika 19. Krivulja trajanja toplinskog opterećenja**

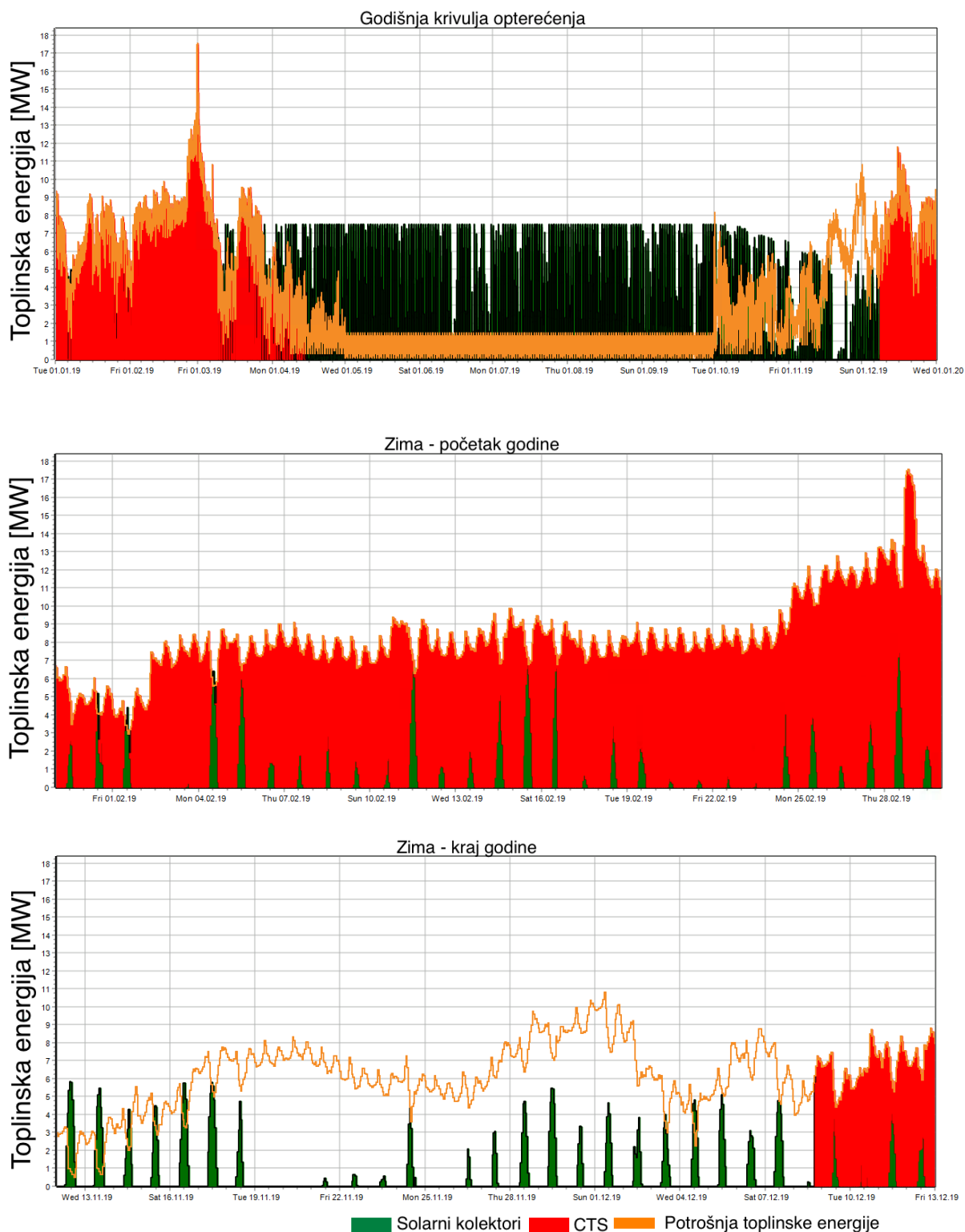
Iz slike 19 se jasnije vidi proizvodnja toplinske energije iz solarnih kolektora. Toplina proizvedena iz solarnih kolektora služi za pokrivanje vršnih opterećenja, dok bazna opterećenja pokriva CTS.



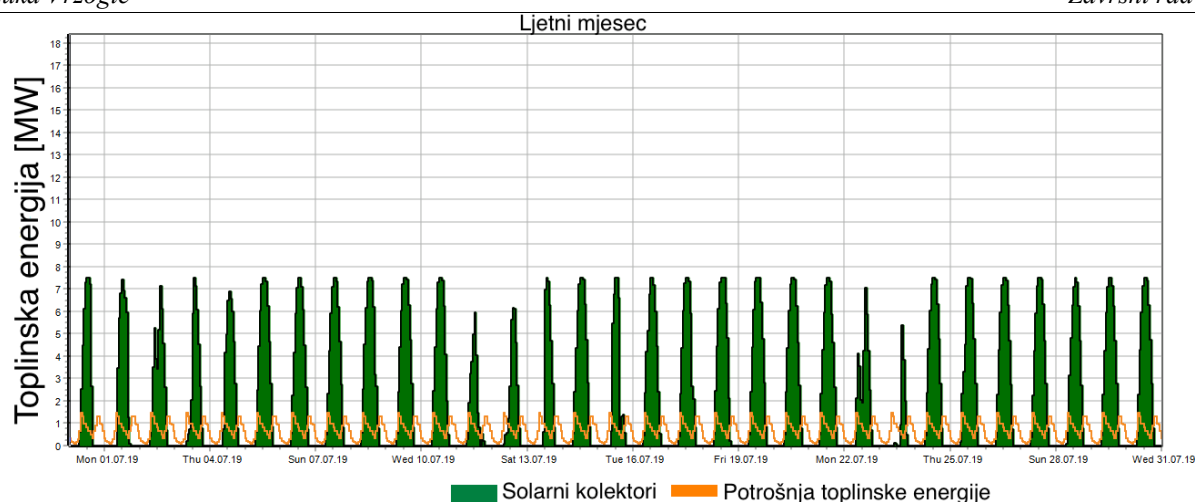
**Slika 20. Krivulja trajanja električnog opterećenja**

Iz krivulje električnog opterećenja proizlazi da fotonaponske ćelije pokrivaju dobar dio potražnje za električnom energijom (1443 MWh; 36%). Isto tako, postoji električna energija isporučena u mrežu (452,1 MWh).

## 6.2. Scenarij 2

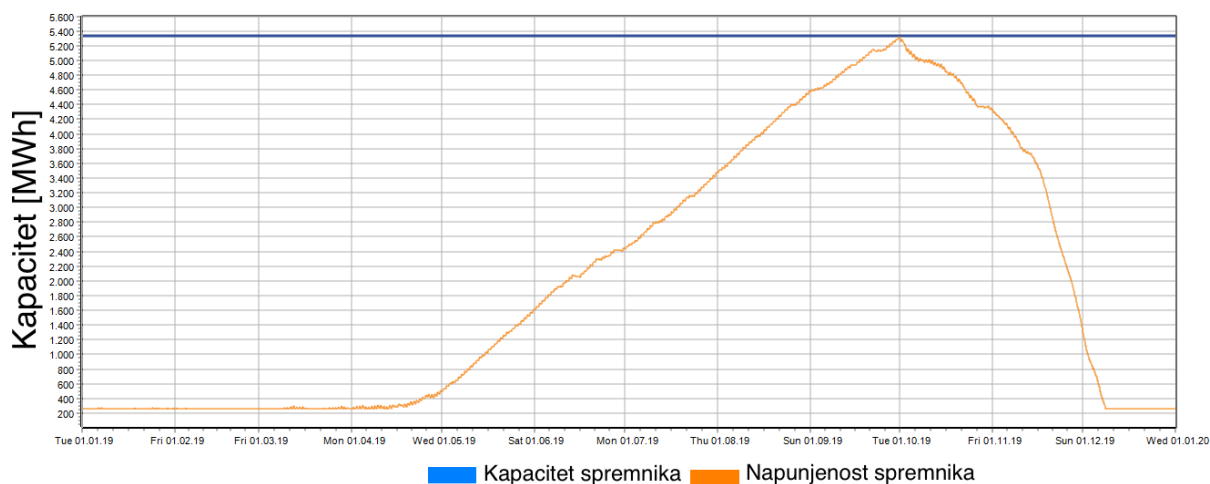


Slika 21. Godišnja krivulja proizvodnje energije i prikaz zimskih mjeseci

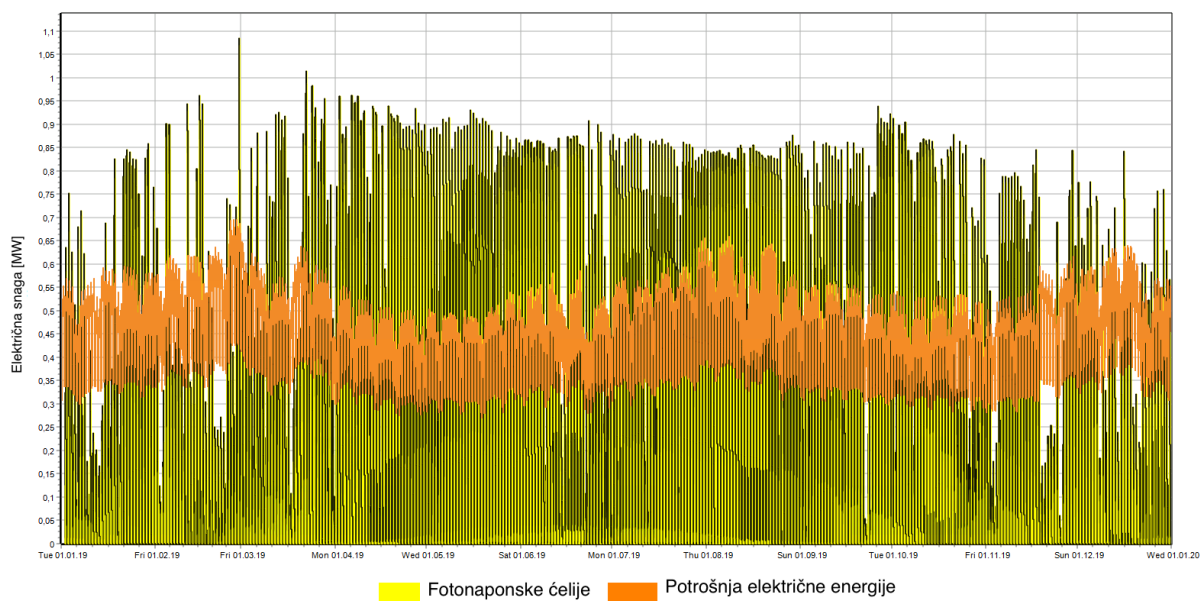


**Slika 22. Prikaz proizvodnje toplinske energije u ljetnom razdoblju**

U drugom scenariju solarni kolektori proizvedu 12371,0 MWh topline (41,1%), dok se ostala toplina nadoknađuje iz toplane (17737,3 MWh; 58,9%). Postoje dva različita slučaja tokom zimskih mjeseci gdje je na početku godine toplinski spremnik prazan te nedostaci u proizvedenoj toplini se nadoknađuju iz toplane. Krajem godine toplinski spremnik je napunjen te onu toplinsku energiju koju ne proizvedu solarni kolektori nadoknadi toplinski spremnik. Kada se toplinski spremnik isprazni, koristi se toplina iz toplane. Tokom ljetnih mjeseci proizvodnja solarnih panela premašuje potražnju toplinske energije te se u tom razdoblju toplinski spremnik puni.

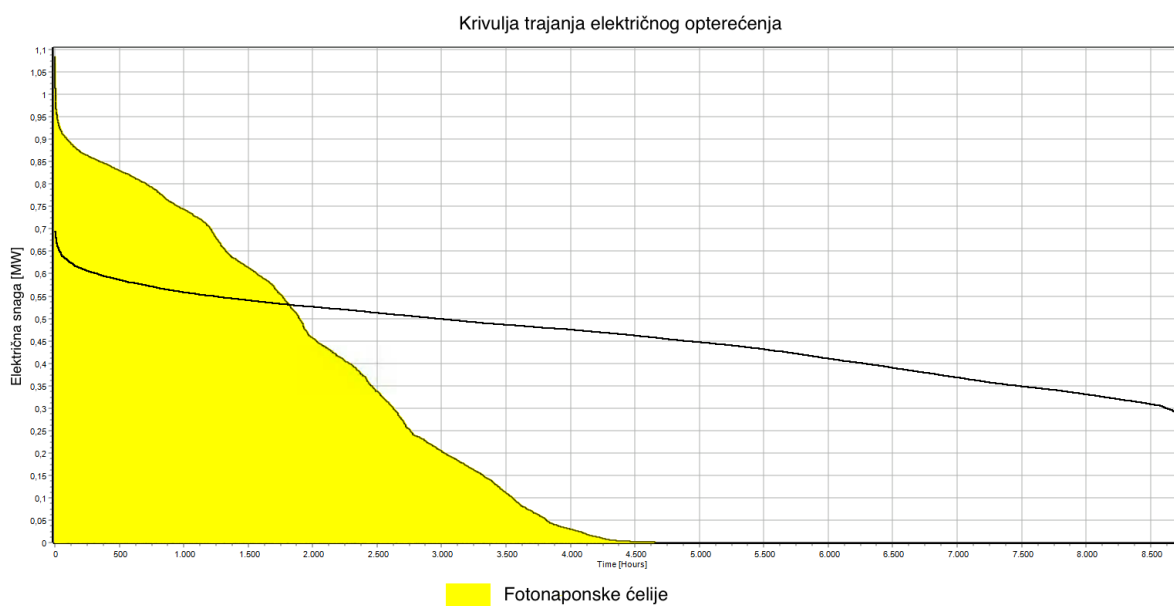


**Slika 23. Napunjenost toplinskog spremnika**



**Slika 24. Godišnja krivulja proizvodnje električne energije**

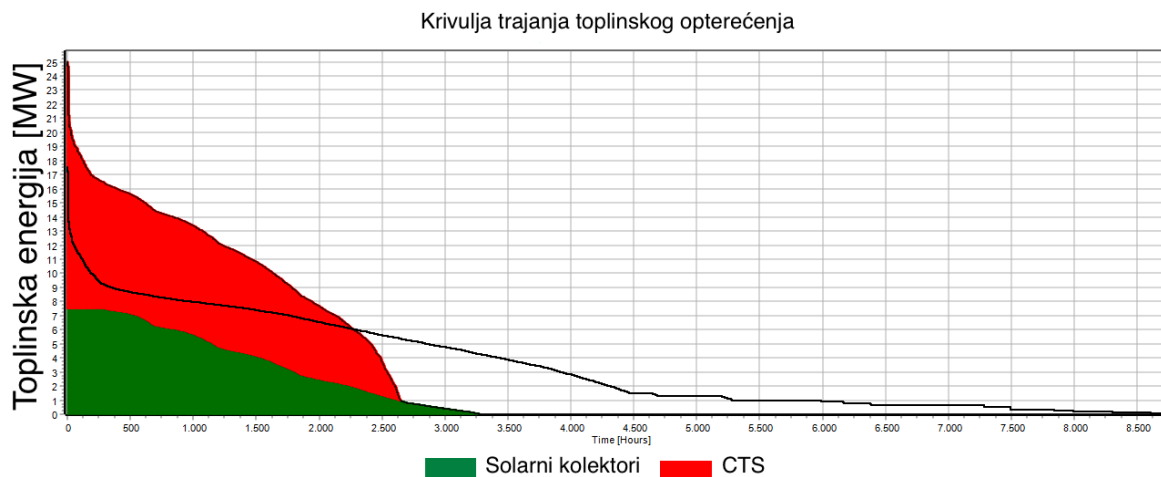
Godišnja krivulja proizvodnje električne energije se nije promijenila u odnosu na prvi scenarij.



**Slika 25. Krivulja trajanja električnog opterećenja**

Krivulja trajanja električnog opterećenja se također nije promijenila u odnosu na prvi scenarij.





**Slika 26. Krivulja trajanja toplinskog opterećenja**

Krivulja toplinskog opterećenja pokazuje prednost korištenja toplinskog spremnika. Zbog mogućnosti pohrane topline u ovom scenariju, uvelike je smanjena potreba za toplinom iz toplane te isto tako solarni kolektori su u mogućnosti raditi punim kapacitetom u ljetnim mjesecima kako bi spremali dodatnu toplinu za kasnije mjesece.

### 6.3. Ekonomski pokazatelji

Način računanja ekonomskih pokazatelja je prikazan u poglavlju 3.3.

Za izračun investicije i troškova pogona i održavanja u sva tri scenarija korišteni su katalozi sa tehničkim specifikacijama i cijenama koje odgovaraju pojedinim komponentama kroz scenarije [33].

**Tablica 7. Izračun ekonomskih pokazatelja**

	Ref.	Scenarij1	Scenarij 2
Investicija [kn]	3 069 740	3 447 405	4 998 059
Troškovi pogona i održavanja [kn]	1 835 755	578 206	681 449
Trošak el. energije [kn]	3 096 271	1 757 903	1 757 903
Trošak plina [kn]	9 467 389	-	-
Trošak kupljene toplinske energije[kn]	-	5 413 215	3 671 559
Prihod od prodane električne energije [kn]	-	176 319	176 319
Ukupni godišnji trošak proizvodnje i potrošnje električne i toplinske energije [kn]	17 442 155	11 020 410	10 932 651

Kada govorimo o ekonomskoj isplativosti iz rezultata je očito da primjena novih tehnologija sa izgrađenom toplanom donosi velike novčane uštede. U prvom scenariju uz samu primjenu solarnih panela i fotonaponskih ćelija moguće je ostvariti uštedu, a kada se u sustav doda i toplinski spremnik koji može poslužiti kao opskrba topline u zimskim mjesecima, ukupna investicija pokazuje još bolje rezultate što se tiče uštede.

#### 6.4. Emisija CO<sub>2</sub>

Izračun emisije CO<sub>2</sub> proveden je na način kako je prikazano u poglavlju 3.4. Emisijski faktori preuzeti su iz tablice faktora primarne energije i emisije CO<sub>2</sub> preuzete sa stranica od ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva [35].

**Tablica 8. Izračun emisija CO<sub>2</sub>**

	Ref.	Scenarij 1	Scenarij 2
Prirodni plin [tCO <sub>2</sub> ]	6835,14	-	-
Električna energija [tCO <sub>2</sub> ]	1504	961,58	961,58
CTS [tCO <sub>2</sub> ]	-	6718	4560,33
Ukupno [tCO <sub>2</sub> ]	8339,14	7679,58	5521,91

Sa ekološkog stajališta, oba scenarija pokazuju bolje rezultate u odnosu na referentni scenarij. Najmanje emisije CO<sub>2</sub> postignute su u drugom scenariju gdje su bili korišteni solarni paneli, fotonaponske ćelije i toplinski spremnik. U prvom scenariju se također postiže smanjenje emisija CO<sub>2</sub>, no višak se topline proizvedene ljeti ne može pohraniti, stoga u zimskom razdoblju je i dalje potrebna topline iz toplane što povećava emisije CO<sub>2</sub>. Iako službeni podaci upućuju na veću emisiju CO<sub>2</sub> iz CTS-a u odnosu na emisiju prirodnog plina, bilo je logično za očekivati da će faktor emisije CO<sub>2</sub> za CTS biti manji od onog za prirodni plin jer se u sklopu postrojenja toplane radi o kogeneraciji, dok bi individualno instalirani plinski kotlovi trebali biti niže energetske efikasnosti sa većim faktorom emisije CO<sub>2</sub>.

**Tablica 9. Udio vlastite potrošnje električne energije i energija predana u mrežu**

	Ref	Scenarij 1	Scenarij 2
Potrebna električna energija [MWh]	4000	4000	
Proizvedena električna energija [MWh]	0	1894,7	
Udio vlastite potrošnje [%]	0	36	
Električna energija predana u mrežu [MWh]	0	452,1	

## 7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je pokazati kako se potrošač s vlastitom proizvodnjom energije može integrirati i aktivno sudjelovati u današnjem energetsom sustavu. U ovome radu nije bio fokus na pojedincu kao *prosumeru*, nego je zagrebačko naselje Lanište tretirano kao skup *prosumera* koji proizvode električnu i toplinsku energiju i aktivno sudjeluju na tržištu električne energije u smislu prodavanja u okviru zakonskih regulativa. U trenutnoj energetskej tranziciji, kada težimo sve efikasnijem modelu proizvodnje i potrošnje energije gdje se stavlja naglasak na nove tehnologije, u zagrebačkom naselju Lanište se odvija posve drugačija situacija. U trenutnom stanju stanovnici Laništa koriste energiju za grijanje dobivenu iz individualno instaliranih plinskih kotlova što je po pitanju ekologije lošije rješenje u odnosu na kombinaciju solarni kolektori- CTS. S druge strane, što se tiče ekonomske isplativosti, tako individualno instalirani plinski kotlovi pokazali su se kao vrlo skupo rješenje zbog velike potrošnje prirodnog plina i troškova održavanja.

U ovom radu prikazana su dva scenarija u kojem se analizirala primjena novih tehnologija u kombinaciji sa toplanom (CTS). U prvom scenariju, gdje su se koristili solarni kolektori i fotonaponske ćelije, u kombinaciji sa CTS-om, pokazalo se da se investicijom u nove tehnologije mogu ostvariti novčane uštede. Isto tako, korištenjem fotonaponskih ćelija stanovnici Laništa su postali aktivni sudionici tržišta električne energije gdje su mogli prodati višak električne energije i dodatno smanjiti svoje račune za električnu energiju. S ekološkog stajališta, prvi scenarij pokazuje smanjenje emisija CO<sub>2</sub> u odnosu na referentni scenarij što se može pripisati prestanku korištenja prirodnog plina kao fosilnog goriva za dobivanje toplinske energije.

U drugom scenariju, uz tehnologije korištene u prvom scenariju, dodan je i toplinski spremnik zapremnine 105000 m<sup>3</sup>. U takvom scenariju mogao se iskoristiti potpuni potencijal solarnih kolektora jer je njihova maksimalna proizvodnja toplinske energije u ljetnim mjesecima dobila puni smisao samim spremanjem toplinske energije u toplinski spremnik za korištenje u razdoblju krajem godine. Upravo iz tog razloga, dolazi do dodatnog smanjenja emisija CO<sub>2</sub> jer je smanjena ovisnost o toplini iz CTS-a gdje se proizvodnjom toplinske energije i dalje emitira CO<sub>2</sub>. Što se tiče proizvodnje i prodaje električne energije u mrežu, u drugom scenariju nema promjena u odnosu na prvi scenarij.

S druge strane, još jedan čimbenik uz same nove tehnologije koje nose poboljšanja u smislu ekologije i proizvodnje energije su i potrošači koji svojim načinom potrošnje energije mogu dodatno utjecati na ishod scenarija u smislu ekologije i efikasnosti potrošnje energije.

Europska Unija je definirala točno određen smjer u kojem bi se energetske sustavi trebali razvijati, a to je primjena novih, za okoliš prihvatljivih tehnologija, uz potrebno smanjenje emisija stakleničkih plinova. U vrlo smo ranoj fazi energetske tranzicije, a ovom analizom je dokazano da je takav smjer i onaj pravi u ekonomskom i ekološkom smislu.

## LITERATURA

- [1] Rehman Zafar, Anzar Mahmood, Sohail Razzaq, Wamiq Ali, Usman Naeem, Khurram Shehzad, “ Prosumer based energy management and sharing in smart grid”, 2018.
- [2] Russell McKenna, “ The double-edged sword of decentralized energy autonomy”, 2018.
- [3] Prof. dr. sc. Neven Duić, “ Sustainable energy systems for CEE countries”, 2018., <https://www.youtube.com/watch?v=l9otWEMqgsQ>
- [4] Muhammad Irfan, Jamshed Iqbal, Adeel Iqbal, Zahid Iqbal, Raja Ali Riaz, Adeel Mehmood, “ Opportunities and challenges in control of smart grids – Pakistani perspective”, 2016.
- [5] Y. Parag and B. K. Sovacool, “Electricity market design for the prosumer era,”, 2016.
- [6] C. W. Von Bergen, Martin S. Bressler, “ Never Underestimate the Power of a Backhoe: Integrating Single Points of Failure into Strategic Planning”
- [7] Sandeep Kakran, Saurabh Chanana, “Smart operations of smart grids integrated with distributed generation: A review”, 2017.
- [8] F. Richard Yu, Peng Zhang, Weidong Xiao, Paul Choudhury, “Communication Systems for Grid Integration of Renewable Energy Resources”, 2011.
- [9] Yael Parag, “Beyond energy efficiency: A ‘prosumer market’ as an integrated platform for consumer engagement with energy system”, 2015.
- [10] Abdelrahman Azzuni , Christian Breyer, “Energy security and energy storage technologies”, 2018.
- [11] Carlos Roldan-Blay, Guillermo Escrive-Escrive, Carlos Roldan-Porta, “Improving the benefits of demand response participation in facilities with distributed energy resources”, 2018.
- [12] Sharon B. Jacobs, “The Energy Prosumer”, 2016.
- [13] Aleksandra Michalec, Enda Hayes, James Longhurst, David Tudgey, “Enhancing the communication potential of smart metering for energy and water”, 2018.
- [14] [https://en.wikipedia.org/wiki/Synchronous\\_grid\\_of\\_Continental\\_Europe](https://en.wikipedia.org/wiki/Synchronous_grid_of_Continental_Europe)
- [15] <http://electricalacademia.com/electric-power/difference-traditional-power-grid-smart-grid/>
- [16] Ingo Stadler, Michael Sterner, “Urban Energy Storage and Sector Coupling”, 2018.
- [17] United Nations, “Adoption of the Paris Agreement”, 2015.

- [18] Paris Agreement, [https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en)
- [19] L. Hancher and B. M. Winters, 'The Eu Winter package: Briefing Paper' 2017.
- [20] European Commission, Clean energy for all Europeans
- [21] European Commission, "Communication from the Commission to the European parliament, the Council, the European economy and social committee, the Committee of the regions and the european investment bank - Clean energy for all Europeans," 2017.
- [22] European Commission, "Roadmap 2050"
- [23] B. Kodba, "Diplomski rad", 2018.
- [24] Ministarstvo gospodarstva, "Nacionalni plan za obnovljive izvore energije do 2020. godine", 2013.
- [25] Hrvatski Sabor, "Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji", 2015.
- [26] [www.emd.dk/about-us/](http://www.emd.dk/about-us/)
- [27] <https://www.energyplan.eu/othertools/local/energypro/>
- [28] <https://en.wikipedia.org/wiki/Geoportal>
- [29] <https://geoportal.zagreb.hr/Karta>
- [30] <https://transparency.entsoe.eu/>
- [31] <http://het.hr/gis-karta/>
- [32] J. Melius, R. Margolis, and S. Ong, "Estimating Rooftop Suitability for PV : A Review of Methods , Patents , and Validation Techniques", 2013.
- [33] [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology\\_data\\_catalogue\\_for\\_heating\\_installations\\_-\\_marts\\_2018.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_catalogue_for_heating_installations_-_marts_2018.pdf)
- [34] [www.gpz-opskrba.hr](http://www.gpz-opskrba.hr)
- [35] [https://www.menea.hr/wp-content/uploads/2013/12/metodologija\\_energetskih\\_pregleda\\_zgrada.pdf](https://www.menea.hr/wp-content/uploads/2013/12/metodologija_energetskih_pregleda_zgrada.pdf)
- [36] <https://www.instituteforenergyresearch.org/electricity-transmission/>
- [37] <https://slideplayer.com/slide/12544551/>
- [38] "Prosumer: Residential Solar PV", 2017., [https://www.thailand-energy-academy.org/assets/upload/coursedocument/file/1.%20%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%B8%20%20Prosumer\\_Draft\\_%20Update.pdf](https://www.thailand-energy-academy.org/assets/upload/coursedocument/file/1.%20%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%B8%20%20Prosumer_Draft_%20Update.pdf)
- [39] <https://renewablesnow.com/news/renewables-supply-25-of-global-power-in-2017-iea-606070/>